

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書

—短繊維混合補強土工法利用技術マニュアル—

平成9年3月

建設省土木研究所 材料施工部 土質研究室

(財)土木研究センター

(株) 奥 村 組

(株) 鴻 池 組

帝 人 (株)

ヒ ロ セ (株)

三 菱 建 設 (株)

(株) エス・エル・エス

(株) 熊 谷 組

三 信 建 設 工 業 (株)

東 洋 紡 績 (株)

三 井 石 化 産 資 (株)

三 菱 化 学 (株)

Copyright ©1997 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書

—短繊維混合補強土工法利用技術マニュアル—

建設省土木研究所 材料施工部 土質研究室
(財)土木研究センター (株)エス・エル・エス
(株)奥村組 (株)熊谷組
(株)鴻池組 三信建設工業(株)
帝人(株) 東洋紡績(株)
ヒロセ(株) 三井石化産資(株)
三菱建設(株) 三菱化学(株)

要 旨

本マニュアルは、様々な土質材料に短繊維を混合させじん性や耐洗掘性などを向上させる短繊維混合補強土の技術的な標準を示したものである。

キーワード：短繊維、じん性、耐洗掘性、建設発生土、リサイクル、試験施工

まえがき

近年、建設事業の進捗にともなって建設現場から発生する土砂（建設発生土）の量は年々増大する傾向にある。一方、都市化の拡大や環境保全の重視などから、建設発生土の受入地の確保は一層困難な状況になっており、建設発生土の発生量の抑制とともに、再生利用の促進を図ることが重要な課題となっている。

そこで、建設省では、平成4年度から総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制再生利用技術の開発」を開始したが、本マニュアルはその成果の一つとして、建設省土木研究所土質研究室と（財）土研センター、民間企業36社（ハイグレードソイル研究会）との共同研究における短繊維混合補強土の成果をとりまとめたものである。

マニュアルの内容としては、じん性や、耐洗掘性の増加といった短繊維混合補強土の特徴を生かした発生土の有効利用を図るために、適応する際の調査法や設計・施工法、および建設省内で行われた試験施工の実例を示している。

今後、本マニュアルが活用され、当工法が広く普及していくことを期待するとともに、これからもさらに新しい技術の開発や改良を進め、土構造物の高度化が図られることを望むものである。

混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書 一短繊維混合補強土工法利用技術マニュアルー

共同研究担当者名簿

三 木 博 史	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室長
藤 井 厚 企	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室
小 畑 敏 子	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室
林 義 之	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室 ^{*1}
持 丸 章 治	建設省 土木研究所 材料施工部 土質研究室 ^{*2}
千 田 昌 平	(財)土木研究センター
和 田 信 昭	(財)土木研究センター 研究開発第一部
福 山 慎 一	(財)土木研究センター 研究開発部 ^{*3}
土 橋 聖 賢	(財)土木研究センター 研究開発第一部
長 坂 勇 二	(株)エスエルエス
西 田 登	(株)エスエルエス 技術部 ^{*3}
有 本 勝 二	(株)奥村組 技術本部 技術開発部
増 井 仁	(株)奥村組 技術研究所 地盤研究室
森 邦 夫	(株)熊谷組 技術本部 土木技術部 ^{*3}
堀 内 晴 生	(株)熊谷組 技術研究所 地質基礎研究部 ^{*3}
渡 辺 則 雄	(株)熊谷組 技術研究所 材料系研究開発部 土質グループ [°]
藤 木 広 一	(株)熊谷組 技術研究所 材料開発部 土質グループ [°]

*1 現 関東地方建設局関東技術事務所

*2 現 関東地方建設局江戸川工事事務所

*3 前担当者

加 津 憲 章	(株)鴻池組 土木本部 東京技術部
川 西 順 次	(株)鴻池組 技術研究所
大 山 将	(株)鴻池組 技術研究所 伝法研究室
新 坂 孝 志	三信建設工業(株) 技術開発部
岡 村 康 弘	帝人(株) 加工技術第2部
加 藤 明	帝人(株) エンジニアリング研究所 大阪設備研究室 ^{*3}
滝 瑛一路	東洋紡績(株) 産業資材総括部 ^{*3}
西 田 孝	東洋紡績(株) 繊維技術センター
熊 田 哲 規	ヒロセ(株) 補強土事業部 テーブル課
岩 崎 高 明	三井石化産資(株) 土木資材事業部
近 藤 誠 宏	三井石化産資(株) ^{*3} (故人)
西 村 淳	三井石化産資(株) 商品技術研究所 土木資材グループ
田 島 健 司	三菱建設(株) 技術本部 技術研究所 土木グループ
新 谷 秀 人	三菱化学(株) 土木資材事業部

*3 前担当者

目 次

まえがき

共同研究担当者名簿

第1章 概要

1-1	短繊維混合補強土工法の目的および概要	1
1-2	繊維混合土の基本的な考え方	1
1-3	適用事例	1
1-4	用語の解説	3

第2章 調査

2-1	概説	5
2-2	計画	5
2-3	調査・試験	7
2-3-1	調査の目的と手順	7
2-3-2	調査・試験	7
2-4	試験施工	8
	参考文献	9

第3章 工学的特性

3-1	概説	10
3-2	繊維材料	10
3-3	土質材料	14
3-4	短繊維混合補強土の工学的特性	15
3-4-1	工学的特性と試験項目	15
3-4-2	力学的強度特性	17
3-4-3	流体抵抗特性	21
3-4-4	その他の工学的特性	27
	参考文献	28

第4章 設計法

4-1	設計の種別	29
-----	-------	----

4-2	のり面保護工の設計法	29
4-2-1	適用範囲	29
4-2-2	設計法	29
4-2-3	材料の配合	30
4-3	土留め擁壁の設計法	30
4-3-1	適用範囲	30
4-3-2	設計法	31
4-3-3	材料の配合	33
4-4	盛土補強工の設計法	34
4-4-1	適用範囲	34
4-4-2	設計法	34
4-4-3	材料の配合	37
	参考文献	38

第5章 施工法

5-1	概説	39
5-2	施工計画の立案	39
5-3	施工手順	40
5-3-1	プラント型混合方式の施工手順	41
5-3-2	原位置混合方式の施工手順	42
5-4	施工方法	43
5-4-1	調査および試験施工	43
5-4-2	準備工	44
5-4-3	混合	46
5-4-4	繊維混合土の締固め	49
5-5	施工管理	49
5-5-1	品質管理	49
5-5-2	出来形管理	52
5-5-3	安全管理	52
5-5-4	維持管理	52
	参考文献	52

参考資料

短繊維混合補強土の繊維分散性確認方法	53
短繊維混合補強土の繊維ふるい分け試験方法	55

第6章 適用事例

原位置施工実験	57
神宮寺築堤工事	59
埼玉施工実験工事	61
原位置短繊維混合実験工事	63
木曽川堤防試験施工	65

第1章 概要

1-1 短繊維混合補強土（マニュアル）の目的および概要

ハイグレードソイル工法は、土質材料にさまざまな材料を混合することにより高付加価値化を行い、土の新たな用途開発やそのままでは利用に不向きな建設発生土の有効利用を計ることを目的としている。このハイグレードソイル工法のなかの一つである短繊維混合補強土（以下、繊維混合土と称す）は、土または安定処理土に短繊維を混合することで強度、じん性（ねばり強さ）などの力学特性の向上や、降雨、流水などに対する耐侵食性の向上、植生の根の引抜き抵抗の向上といった効果を有する。これらの特性より、発生土を繊維混合土として堤防のり面の被覆材、多自然型の基盤構築、土構造物の地盤補強などへの適用が考えられる。

1-2 繊維混合土の基本的考え方

繊維混合土は土または安定処理土に長さ数十～数百mm、太さ1～100 De程度（De：繊維の長さ9,000mの質量をグラム数で表した単位）のポリエステルやポリプロピレンなどの繊維を0.1～数%（乾燥重量比）程度混合するものである。このように短繊維を混ぜることで土粒子と短繊維、短繊維と短繊維を絡み合わせて破壊しにくい性質であるじん性と強度、降雨・流水に対し土粒子の飛散（侵食・洗掘）を防止する効果が期待できる（図1-1）。これらの改良効

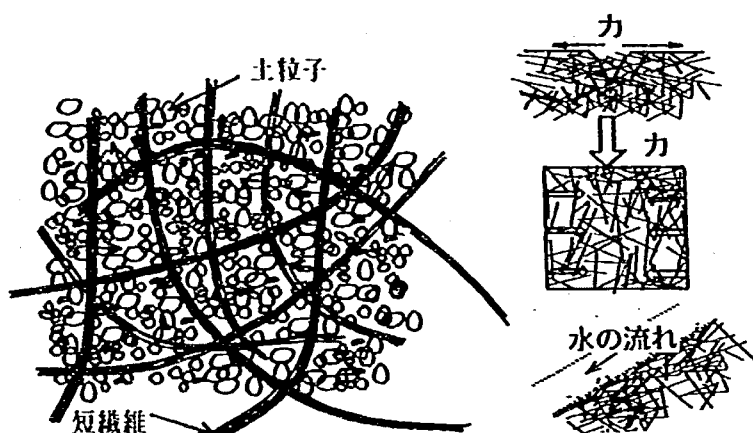


図1-1 繊維混合土イメージ図

果は土質材料の粒度分布や短繊維の形状（太さ、長さ）、混合比の違いにより大きく異なる。しかし、さまざまな土質材料と繊維配合との間に定量的な関係をとらえるだけ十分な試験は実施されていない。このため、類似したケース（土質、配合）で各種試験が行われている場合以外は適用以前に必要な試験を行い検討するものとする。

1-3 適用事例

繊維混合土の特徴を生かした適用例としては下記のものが考えられる。

- 1) 繊維混合土は、降雨や流水による耐侵食性が増し、植物根との活着力が増大するため、侵食の生じやすい土（砂質土、シルト質土、まき土など）の盛土にのり面被覆材として適用する。（図1-2）
- 2) 繊維混合土は、植物の根と繊維が絡み合うことから植物の根の引っ張り抵抗力が増す。また、流水

による耐洗掘性やパイピング抵抗性が増すことから河川堤防の表のり面被覆材や、植生が可能な多自然護岸へ適用する。(図1-3)

3) 土に短繊維を混合することで土の強度、じん性が増大することから、植生可能な盛土の補強や土留め擁壁への適用。(図1-4、図1-5)

4) 繊維混合安定処理土はクラックなどが生じにくいため、軟弱地盤上での路床、路体や構造物基礎として適用し安定を高める。(図1-6)

5) 繊維混合土を廃棄物処理場の遮水シート上下に敷設し、レキ、ゴミ投棄によるシート突き破りを防止する保護材として適用。(図1-7)

6) 繊維混合土は植物の根づきがよくなることや、踏圧による土壌硬化を防止することから公園やプレイグランドへの適用。(図1-8)

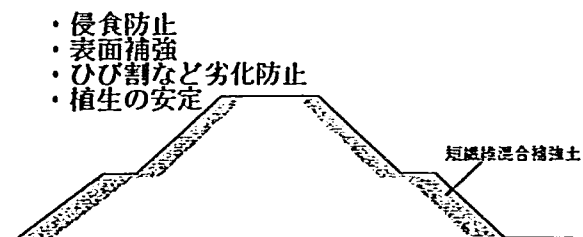


図1-2 盛土のり面被覆材



図1-3 河川堤防の表のり面被覆材

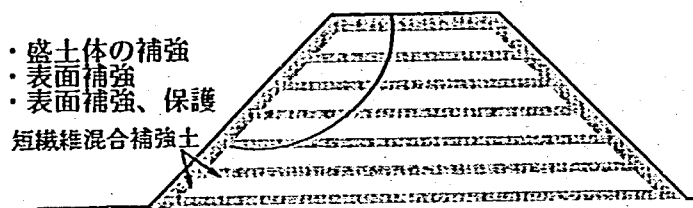


図1-4 盛土補強工

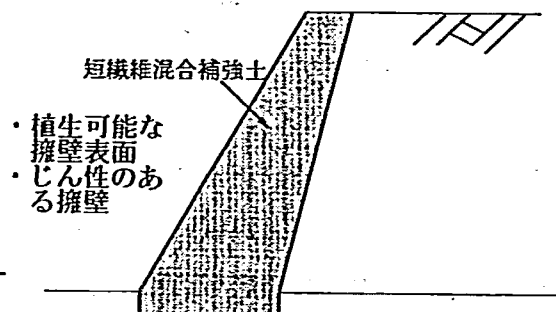


図1-5 土留擁壁

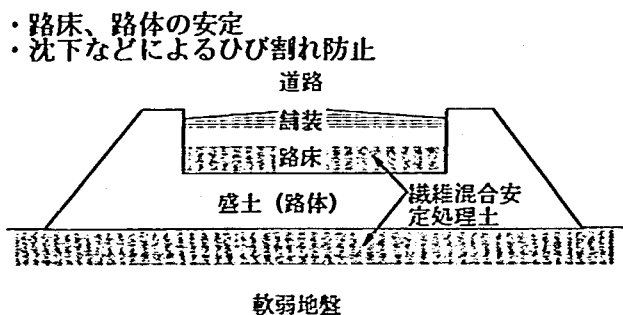


図1-6 軟弱地盤上の路床、路体

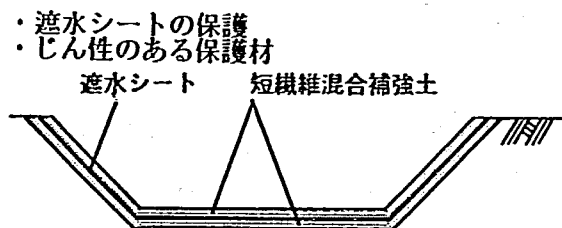


図1-8 廃棄物処理場の遮水シート保護材

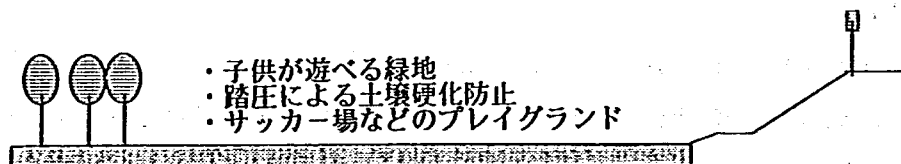


図1-9 公園、プレイグランド

1-4 用語の解説

本工法は混合材料として化学繊維を使用し、建設発生土を用いることがあるため、繊維や発生土に関連した用語が数多く使われている。また、この工法の特性や特徴を調べるための特殊な試験装置や試験器具などがあるため、これらの用語について下記で説明する。

1) 繊維関連用語

フィラメント …連続したきわめて長い繊維。

(filament)

モノフィラメント …単独に使用できる1本のフィラメント(単繊維)。

(mono-filament)

マルチフィラメント …2本以上からなるフィラメント(繊維束)。

(multi-filament)

デニール (De) …長さ9,000m当たりの糸の質量をグラム数で表した単位。

長さ9,000m当たり2グラムであれば2Deという。

*糸の直径(μm) = $11.89 \times \sqrt{\text{De} / \text{糸の密度}}$

フィラメント数 (f) …1本のマルチフィラメントを構成するモノフィラメントの数。

ラップ (wrap) 梱包 …ほぐした短繊維をシート状にまとめたもの、または、それを円筒状に捲いたものの。

ベール (bale) 梱包 …ほぐした短繊維を圧縮して塊状にまとめたもの。

繊維の断面形状 …円形、串団子型、H型などある。

2) 繊維混合土に関する用語

インデックス値 …繊維混合土は混合する繊維の長さ、太さ、混合量によって発現する特性が異なることから、繊維の長さ(L)と直径(D)および混合比(n)を用いて指標としたもの。この指標を用いて、繊維混合土の洗掘抵抗性や強度特性などを整理すると良い相関が得られる。インデックス値を求める式を下記に示す。

$$\text{インデックス値} = L / D \times n$$

繊維の開繊と分散性…繊維の開繊とは、繊維が束にならず1本ずつバラバラの状態のことを言い、繊維の分散性とは土質材料中の繊維の均質の程度のことを言う。

繊維混合率 …土の乾燥重量に対する繊維の乾燥重量の割合。通常0.1~数%程度になる。

建設発生土 …建設工事に伴って副次的に発生する土砂や泥土のこと(表2-1参照)。

安定処理土 …セメント系や石灰系の固化材を混合して安定処理を行った土。

繊維混合安定処理土…土質材料に繊維とセメント系や石灰系などの固化材を混合したもの。

- 流体抵抗特性試験 …降雨、流水、浸透水に対する抵抗性を求める試験で、下記に示すエロージョン、洗掘、パイピング試験の3つの試験を総称して言う。(3-4参照)。
- エロージョン試験 …降雨による耐侵食性の効果を確認する試験。
- 洗掘試験 …流水による耐洗掘性の効果を確認する試験。
- パイピング試験 …浸透水に対する抵抗性を確認する試験。
- 分散性確認試験 …繊維混合土の繊維の分散性を確認する試験(巻末資料参照)。
- 繊維ふるい分け …繊維混合土内の繊維含有量を求める試験(巻末資料参照)。
- 引き抜き抵抗試験 …熊手状の金具を土中に打込み、ハネばかりで引抜き、このときの引抜き力を測定する試験。

2章 調査

2-1 概 説

繊維混合土を用いた場合の土構造物の計画にあたっては、繊維混合土の特性を把握し、その土構造物の重要度、経済性および安定性等について十分に考慮した計画を行う。

また、繊維混合土を用いた土構造物の安定は、周辺の環境条件や地盤条件と密接な関係があるので、これらについて十分に調査を行う必要がある。

2-2 計 画

繊維混合土の特性は、

- ①そのままでは降雨や流水により侵食されやすい土に大きな耐侵食性を付与できること
- ②補強強度は大きなひずみでも維持されること
- ③土質安定処理材との併用では大きな強度が得られ、かつ残留強度も大きいこと

などであり、この性能に対応した利用を計画するのが効果的である。

繊維混合土は、原位置土や建設発生土の有効利用の他に安定処理土などにも混合が可能である。したがって、繊維混合土によって構築される盛土等の永久構造物の強度や変形に関する特性や耐久性については土質材料の粒度組成と短繊維の太さ、長さ、混合比によって異なることから、繊維材料および土質材料の特性なども把握しておかなければならない。

1) 繊維材料

日本国内に流通している繊維には多くの種類があるが、繊維混合土で用いる繊維としては、

- ①土と均質に混合できる繊維であること
- ②繊維の引張り強度が十分であること
- ③耐久性（耐薬品性、生物学的耐食性、耐候性）を要求される場合には繊維の長期的な引張り強度の保証が得られること
- ④繊維の入手が容易であること
- ⑤土工材料として費用面で経済的な繊維であること

などを考慮して、現在は主にポリエステル繊維を使用している。なお、使用する繊維材料はこの他の繊維材料でも使用時の諸条件を満足するものであれば問題はない。しかし、セメント安定処理土など高濃度のアルカリ性を示す土や酸、酸化剤や特殊な有機溶剤を含む特殊な条件の土壌においては、繊維材料の耐久性を調査し、適切な繊維を選定しなければならない。

2) 土質材料

繊維混合土は、良質な砂質土、安定処理土との混合の他に、原位置土や建設発生土の有効利用としての混合も行われる。すなわち、粘性土から砂質土等の良質購入土、第2種から第4種建設発生土（表2-1）の土質材料に適用が可能である。

表2-1- 建設発生土の土質区分基準¹⁾

区 分 (建設省令)	土質区分	コーン 指数 qc ²⁾	日本統一土質分類		備 考 ³⁾		
			中分類	土 質	含水比 (地山) w _n (%)	掘削方法	
第1種建設発生土 〔砂、礫及びこれらに準ずるもの〕	第1種発生土	—	{G} {S}	礫 砂	—	・ 排水に考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、建設省令の1ランク下の区分とする。	
	第1種改良土		(改良土) ⁴⁾		—		
第2種建設発生土 〔砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの〕	第2a種発生土	8以上	{GF}	礫質土	—		・ 水中掘削等による場合は、建設省令の2ランク下の区分とする
	第2b種発生土		{SF}	砂質土(F _c =15~25%)	—		
	第2c種発生土			砂質土(F _c =25~50%)	30%程度以下		
	第2種改良土		(改良土)		—		
第3種建設発生土 〔通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの〕	第3a種発生土	4以上	{SF}	砂質土(F _c =25~50%)	30~50%程度		
	第3b種発生土		{M}, {C}	シルト、粘性土	40%程度以下		
	第3種改良土		{V}	火山灰質粘性土	—		
第4種建設発生土 〔粘性土及びこれに準ずるもの (第3種発生土を除く)〕	第4a種発生土	おおむね 2以上	{SF}	砂質土(F _c =25~50%)	—		
	第4b種発生土		{M}, {C}	シルト、粘性土	40~80%程度		
			{V}	火山灰質粘性土	—		
			{O}	有機質土	40~80%程度		
	第4種改良土		(改良土)		—		
(泥土) ⁵⁾ 〔浚渫土のうち おおむねqc2以下のもの及び建設汚泥〕	泥 土 a	おおむね 2以下	{SF}	砂質土(F _c =25~50%)	—		
	泥 土 b		{M}, {C}	シルト、粘性土	80%程度以上		
			{V}	火山灰質粘性土	—		
			{O}	有機質土	80%程度以上		
	泥 土 c		{Pt}	高有機質土	—		

* 1) 泥土のうち建設汚泥は、廃棄物処理法に定められた手続きが必要である。

* 2) 計画段階(掘削前)において土質区分を行う必要があり、コーン指数を求めるために必要な試料を得られない場合には、日本統一土質分類と備考欄の含水比(地山)、掘削方法から概略の土質区分を選定し、掘削後、所定の方法でコーン指数を測定して、土質区分を決定する。

* 3) 所定の方法でモールドに締固めた試料に対し、ポータブルコーンペネトロメータで測定したコーン指数。

* 4) 表中の第1種~第4種改良土は、土(泥土を含む)に改良材を混合し、化学的に性状を改良したものである。例えば、第3種改良土は、第4種発生土または泥土を安定処理し、コーン指数4以上の性状に改良したものである。

* 5) 含水比低下、粒度調整など物理的な処理を行った場合には、処理後の性状で再度判定し、改良土としてではなく、発生土として土質区分を判定する。

* 6) 第1種改良土は、礫、砂状を呈するもの。

3) 繊維混合土

繊維混合土は、比較対象となる通常のジオテキスタイル補強土工法などと異なり、土と短繊維とがランダムに混合された異方性のない(均質な)構造であることに最大の特徴がある。すなわち、砂質土に短繊維を混合することで「みかけの粘着力やじん性」を発現するので、粘り強い盛土や堤体などの構築が可能である。また、のり面表層部の侵食防止や安定処理土のひび割れ防止にも効果を発揮する。

2-3 調査・試験

2-3-1 調査の目的と手順

調査は、繊維混合土の計画、設計、施工、維持管理を合理的かつ経済的に行うために必要な資料を得ることを目的とする。

繊維混合土が設置される個所の原地盤や、盛土体に適用しようとする現地材料の性状は複雑多岐であり、このような条件のもとに安定した構造体を構築するためには、十分な調査を行うことが重要である。また、調査によって求められる資料やデータは、工学的に必要な精度、内容を有しているものでなければならない。

なお、一般的な土質調査の手順等については「道路土工—土質調査指針」²⁾などに準じて行うものとする。

2-3-2 調査・試験

繊維混合土の調査・試験対象としては、土質材料、繊維混合土、基礎地盤、自然地山があげられる。

1) 土質材料

原位置土や建設発生土の有効利用が図られることから、実施工に際しては対象となる土質材料に対する土質試験を行い、物理特性・力学特性を把握する必要がある。試験法としては、以下の試験を行っておく。³⁾

- ・土粒子の密度試験 (JSF T 111)
- ・土の含水比試験 (JSF T 121)
- ・土の粒度試験 (JSF T 131)
- ・土の液性限界・塑性限界試験 (JSF T 141)
- ・突固めによる土の締固め試験 (JSF T 711)
- ・土のpH試験 (JSF T 211)

2) 繊維混合土

繊維混合土は、補強材の土に対する補強効果の各因子（たとえば、ジオテキスタイルと土との摩擦特性や引抜き特性など）を直接求めることはできなくても均質材料であるため、その性能を確認するには、普通の土質材料と同様の試験方法によって評価することができる。また、1) に示した土質材料を用い短繊維との分散性を確認するため、

- ・分散性確認試験

を事前に行っておく必要がある（5-5-1 参照）。

擁壁や盛土の補強工として利用する場合のように、繊維混合土のせん断強度が必要とされる場合においては、

- ・三軸圧縮試験等の力学試験

を行い、内部摩擦角、粘着力を確認しておく必要がある。この場合、使用する短繊維の長さや試験供試体の大きさに注意する必要がある。また、繊維の他に土質安定処理材を添加する場合には、「セメント系固化材による安定処理土の試験方法（養生方法など）」⁴⁾を十分に考慮する必要がある。

この他、繊維混合土の流体抵抗特性を確認する試験として、

- ・エロージョン試験
- ・洗掘試験
- ・パイピング試験

などがあり、対象構造物の重要度などを考慮の上、必要に応じて行うものとする（3-4-3参照）。

3) 基礎地盤

土留め構造物として繊維混合土を適用する場合においては、抗土圧構造物としての安定性が確保されなければならない。したがって、基礎地盤の安定性の確認のための調査が必要となる。

繊維混合土を用いた土構造物を支持する基礎地盤は、構造物の荷重に対して安定性（外的安定性）を有するものでなければならない。特に軟弱な粘土層が存在する場合には、基礎の沈下あるいは不同沈下が構造物の機能障害や不安定化の要因となる場合がある。したがって、基礎地盤の調査においては軟弱層が存在するような場所においては、ボーリングやサウンディング⁵⁾による土層構成や基盤の傾斜の把握および土質試験による土質特性の把握が重要である。

また、軟弱な砂質土地盤においては、地下水位の存在下において液状化の可能性についても検討が必要である。

基礎地盤の調査結果によって、安定性や沈下などが問題となる場合には適切な対策工を施し、外的安定条件を満たさなければならない。

4) 自然地山

原地盤についての調査は、補強の対象となる地山や盛土に関しても通常の調査（現地踏査、ボーリング地盤調査、土質試験等）をしなければならない。この結果により、繊維混合土の被覆厚さや必要強度が決定される。

自然地山ののり面保護工などに適用する場合においては、浸透水や表流水のみならず、地山からの湧水が繊維混合土を用いた土構造物の安定性に大きく影響を及ぼすことから、事前の調査を十分に行うことによって排水対策及び適用性を検討する必要がある。

2-4 試験施工

試験施工は工事の設計方針、施工方法などを検討するために本格的な工事の着手に先立って実際の現場で施工を試みることである。通常の工事では事前に行われる諸調査の結果をもとに設計、施工が行われるが、工事の内容・重要度によっては試験施工を行ってその成果を設計、施工に活かすことが必要かつ有効である。

試験施工は通常の事前調査のみでは得られない貴重な経験的情報を得ることによって設計、施工の確実性を高めようとするものであるから、必要に応じて十分に活用する。試験施工を実施する際は事前調査の成果をよく検討することはもちろんのこと、過去の試験施工の実例などをよく調査し、所定の目的が達せられる試験施工を心がけなければならない。

試験施工の方法には特に定まったものがあるわけではないが、目的に応じた方法で行う必要がある。また、試験施工の規模あるいは方法によっては試験施工と本工事とはその内容が必ずしも同一でないこともあるので、試験施工の結果を本格的に工事に適用する場合には適用方法や範囲の決定に必要と思われる項目につ

いて十分に検討し、試験の計画を策定し実施する。

第2章 参考文献

- 1)財団法人土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル，pp. 22，1994
- 2)社団法人日本道路協会：道路土工 土質調査指針，1986
- 3)社団法人地盤工学会：土質試験法の方法と解説，1990
- 4)社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第二版），1994
- 5)社団法人地盤工学会：地盤調査法，1995

第3章 工学的特性

3-1 概説

繊維混合土は、基本的には土質材料と繊維材料から構成されている。さらに、これらにセメントや石灰などの固化材を混合する場合、つまり安定処理土に短繊維を混合し、ひび割れの生じにくい安定処理土として利用する場合もある。

3-2 繊維材料

繊維混合土では土の補強のために長さが数十～数百mm、太さ1～100 μ m程度の短繊維を混合するが、これは古くからよく知られたわらの混合による壁土の補強あるいは植物栽培土壌の改良といった手法に源を発している。

短繊維材料は表3-1に示されたものの中で、次に示す観点、

- ①土と均質に混合できる繊維であること
- ②繊維の引張り強度が十分であること
- ③耐久性（耐薬品性、生物学的耐食性、耐候性）を要求される場合には繊維の長期的な引張り強度の保証が得られること
- ④繊維の入手が容易であること
- ⑤土工材料として費用面で経済的な繊維であること

から、現在では、主に、化学繊維であるポリエステル繊維を用いている。ポリエステル繊維はモノフィラメントのラップやベールの形で実用に供される。

以下に化学繊維であるポリエステル、ポリプロピレン、ポリエチレンおよびビニロンの各繊維の基本的耐薬品性について調べるため、アルカリおよび酸に対する室内促進試験を実施した結果を示す。

表3-2は、試験に用いた繊維材料の種類を示す。また、表3-3、表3-4および表3-5はそれぞれ試験条件として試験に用いた薬品の種類、浸漬方法および試験の評価方法を示す。

浸漬後の繊維の強度保持率（繊維をある時間薬品に浸漬した後の引張り強度／浸漬前の引張り強度 $\times 100$ ）を図3-1～3-4に示す。強度保持率で見ると特殊条件を除いた混合補強土条件（ $\text{pH}=3\sim 11$ ）では、ポリエステル、ポリプロピレン、ポリエチレンおよびビニロン繊維のいずれも、長期安定性を有するものと推定できる。しかし、 NaOH 10%溶液（ $\text{pH}=14$ ）に浸漬したポリエステルでは劣化が見られることから、高濃度のアルカリ、酸、酸化剤、還元剤や特殊な有機溶剤などを含む特殊条件の土壌において、これらの繊維を使用する場合は、繊維材料の適性（化学的安定性、繊維強度、コストなど）を総合的に調査し、選定することが肝要である。

表3-1 繊維性能表 (参考文献1)の表を修正加筆)

繊維	性能	引張り強さ(gf/Den)		比重	公定水分率(%)	耐熱性(℃)		耐候性 (強度について)	耐化学薬品性					溶解する溶剤	
		乾燥	湿潤			軟化点	溶融点		①	②	③	④	⑤		
ポリエステル	f	4.3~9.0	4.3~9.0	1.38	0.4	238~240	255~260	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	フェノール誘導体	
	s	4.7~6.5	4.7~6.5						○	○	○	○	○		
アクリル	s	2.5~5.0	2.0~4.5	1.14~1.17	2.0	190~240	不明瞭	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	ジメチルホルムアミド、ジメチルアセチルアミン	
アクリル系	s	2.2~4.0	2.0~4.0	1.28	2.0	150	不明瞭	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	アセトン、ジメチルホルムアミド	
ナイロン(6)	f	4.8~10.0	4.2~9.0	1.14	4.5	180	215~220	やや低下 わずかに黄変する	○	×	×	×	×	フェノール	
ナイロン(66)	f					230~235	250~260		○	×	×	×	×		
ビニロン	s	4.0~10.5	3.2~9.0	1.26~1.30	5.0	220~230	不明瞭	殆ど低下しない	○	×	×	×	○	熱ビニリン、フェノール、クレゾール	
ポリプロピレン	s	4.4~7.5	4.5~7.5	0.91	0.0	140~160	165~173	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	四塩化エタン	
ポリ塩化ビニル	f	2.7~3.7	2.7~3.7	1.39	0.0	—	200~210	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	ジメチルホルムアミド、テトラヒドロフラン	
ポリエチレン (低圧法)	f	5.0~9.0	5.0~9.0	0.94~0.96	0.0	100~115	125~135	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	四塩化エタン	
ビニリデン	f	1.5~2.6	1.5~2.6	1.70	0.0	145~165	165~185	殆ど低下しない	○	○	○	○	○	ジメチルホルムアミド、テトラヒドロフラン	
ポリウレタン	f	0.6~1.2	0.6~1.2	1.0~1.3	1.0	—	200~230	やや低下、やや黄変する	○	○	×	○	○	温メチルホルムアミド	
ポリクラール	s	2.8~3.3	2.0~2.3	1.32	3.0	180~200	不明瞭	殆ど低下しない	○	○	△	△	○		
レーヨン	s	2.5~4.2	1.4~3.3	1.50~1.52	11.0	軟化、溶融しない	260~300℃で着色分解	やや低下	○	○	×	○	○	銅アモニフ、銅エソジアミン	
	f	1.7~5.2	0.8~4.1						○	○	×	○	○		
ポリノジック	s	3.8~5.2	2.8~4.2	1.50~1.52	11.0	レーヨンに同じ		レーヨンに同じ	○	○	×	○	○		
キュブラ	f	1.8~2.7	1.1~1.9	1.50	11.0	レーヨンに同じ		レーヨンに同じ	○	○	×	○	○		
アセテート	f	1.2~1.4	0.7~0.9	1.32	6.5	200~230	260	殆ど低下しない	○	○	×	×	×	アセトン、フェノール	
トリアセテート	f	1.2~1.4	0.8~1.0	1.30	3.5	250	300	殆ど低下しない	○	○	×	△	×	メチルエチルケトン	
プロミックス	f	3.5~4.5	3.2~4.2	1.22	5.0	270で分解		殆ど低下しない	○	○	○	○	○		
絹		3.0~4.0	2.1~2.8	1.33~1.45	11.0	軟化、溶融しない	235℃で分解	低下著しい	×	○	×	○	○	銅アモニフ	
毛		1.0~2.0	0.76~1.63	1.32	15.0	軟化、溶融しない	130℃で熱分解、205℃で焦げる	低下、染色性やや低下する	×	○	○	○	○		
綿		3.0~4.9	3.3~6.4	1.54	8.5	軟化、溶融しない	245℃で着色分解	低下、黄変の傾向あり	○	○	×	○	○	銅アモニフ	
麻		6.5	7.7	1.50	12.0	軟化、溶融しない	200℃で分解	低下、黄褐色となる	○	○	×	○	○	銅アモニフ	

※1 f:フィラメント、s:ステープル

※2 耐化学薬品性の項で×は溶解、○は不溶、△は部分溶解を示す

※3 溶解する溶剤の項はその繊維を溶解する特殊な溶剤名を示す

①:水酸化ナトリウム5% (沸騰)

②:塩酸20% (室温)

③:硫酸70% (室温)

④:硝酸80% (室温)

⑤:水酢酸 (沸騰)

表3-2 試験に用いた繊維材料の種類

繊維の種類	繊維の仕様		備 考
		単繊維De	
ポリエステル繊維 (PET)	1500De— 380f	3.9	評価用には長繊維を使用
ポリプロピレン繊維 (PP)	1200De— 170f	7.1	
ポリエチレン繊維 (PE)	170De— 36f	4.7	
ビニロン繊維 (PVA)	1800De—1000f	1.8	

表3-3 薬品の種類

化学成分	試験濃度
水酸化ナトリウム (NaOH)	0.1 重量%水溶液 (pH=12)
	1 重量%水溶液 (pH=13)
	10 重量%水溶液 (pH=14)
硫酸 (H ₂ SO ₄)	10 重量%水溶液 (pH= 1)

表3-4 浸漬方法

浸漬温度	50±1 ℃
浸漬時間	360, 720, 1080, 2160, 3600 hr
試料/試験液重量比	4g/100g=1/25

表3-5 試験の評価方法

浸漬試料を湯洗、水洗、脱水、風乾し、温度 20℃、湿度 60%にて 48 Hr保管後
引張強度・伸び率を測定して、浸漬前のこれらの値に対する比率（保持率）を調べる。
試料長：20cm 測定速度：20cm/min (100%) 測定数=10

(備考) 引張り強度：繊維破断時の引張り力

伸 び 率：繊維破断時の引張り伸び率

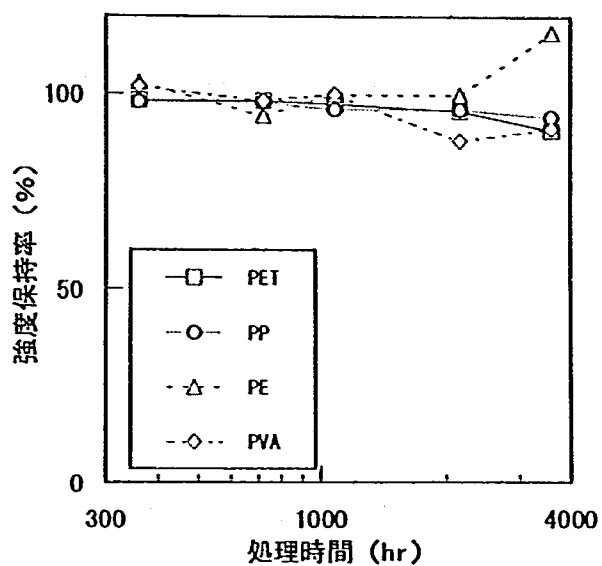


図3-1 0.1% NaOH試験液での強度保持率

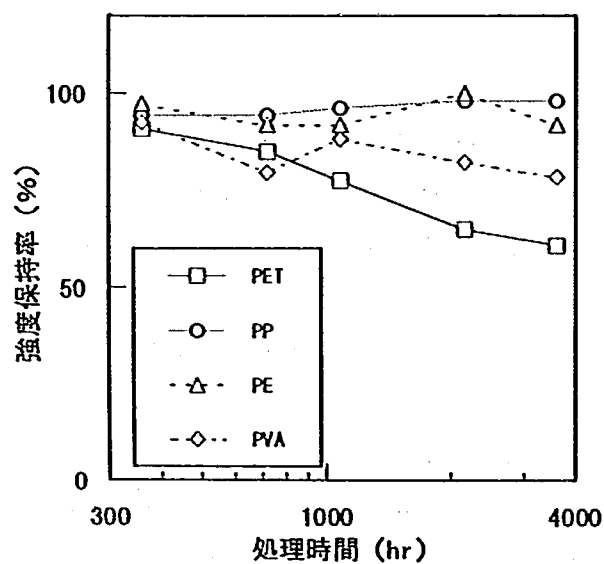


図3-2 1.0% NaOH試験液での強度保持率

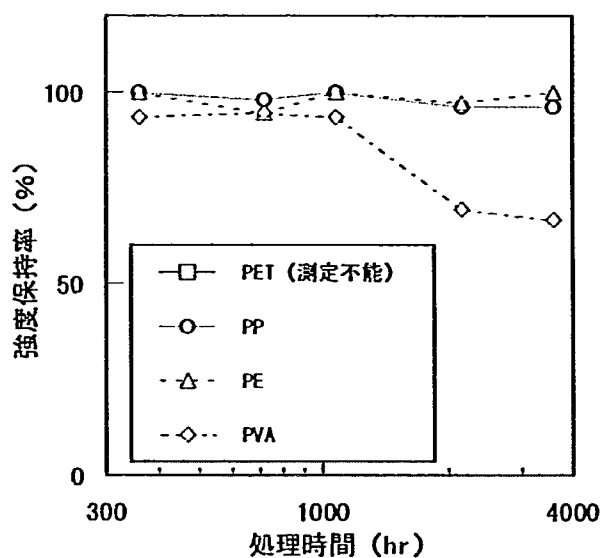


図3-3 10.0% NaOH試験液での強度保持率

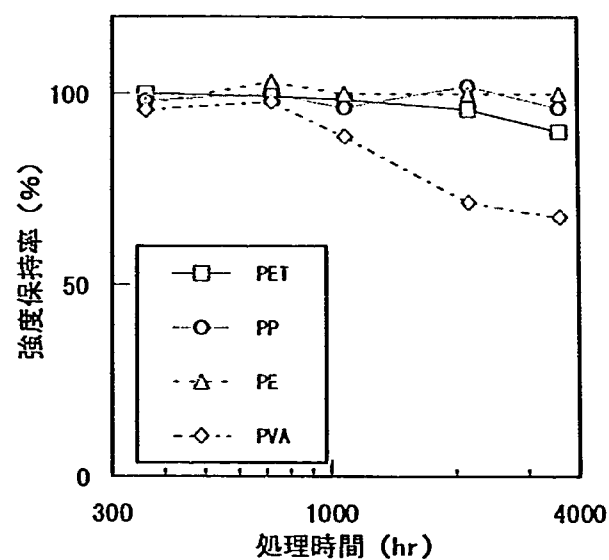


図3-4 10.0% H₂SO₄試験液での強度保持率

3-3 土質材料

繊維混合土は、まさ土、シラスなどの砂質土あるいは粘性土の原位置土や発生土にポリエステルなどの短繊維を混合することで、じん性・強度の増加効果や降雨・流水に対する耐侵食効果、植物の根の引抜き抵抗の増加を図るもので、第2種から第4種の発生土までの広範囲にわたる土質材料を堤防のり面や植生基盤あるいは土構造物の基盤補強材料としての用途に適用できる。

繊維混合土は、従来は土構造物への使用には不向きであった土質材料にまで適用範囲を広めたが、

①土塊、レキや岩塊を含む盛土材料では、短繊維の混合が不可能となるため、これらを撤去しなければならない。

②高含水比の粘性土を主体とした発生土は、原位置混合装置で混合する場合には適さず、プラント型混合装置での混合が望ましい。

等の制約条件がある。

また、本工法を適用しても、土質材料によっては、適用用途の必要特性が得られない場合があるため、各章の記述内容を十分確認する必要がある。

3-4 短繊維混合補強土の工学的特性

3-4-1 工学的特性と試験項目

短繊維を土質材料に混合することにより、①せん断強度の増加などの補強特性、②短繊維を混合した粘性土を盛土材料として用いたときの圧密量の低減特性、③地震動や車両などの動的圧力に対する緩和特性、④排水層として用いた時の飽和・不飽和透水特性、⑤降雨時の砂質土に対するエロージョン防止や河川水による洗掘に抵抗する特性、⑥安定処理土と併用することによる複合的な補強効果とその長期安定性などの工学的特性が付与されることが期待される。

このような繊維混合土の工学的特性を求める試験項目を図3-5に示す。すなわち、補強される土質材料の物理特性を明らかにした後、繊維混合土の力学特性を一軸圧縮試験、三軸圧縮試験で確認する。流体に対する抵抗特性を確認するためにはエロージョン試験、洗掘試験、パイピング試験を実施する。

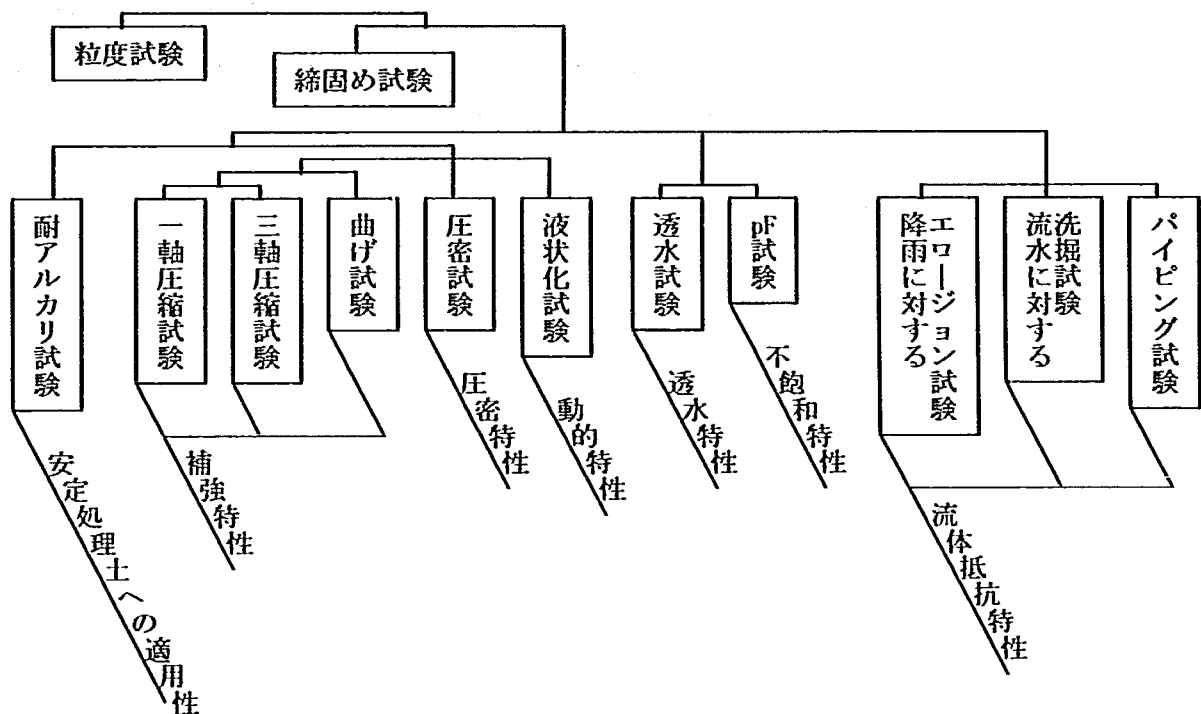


図3-5 短繊維混合補強土の試験の位置づけ

ここでは、繊維混合土の工学的特性を調べるために実施した試験結果を述べる。繊維材料は、

- ・ 繊維の材質 ポリエステル
- ・ 繊維の長さ 30～102 mm
- ・ 繊維の太さ 6～100 De (直径 25～101 μm)
- ・ 繊維混合比 0～ 2 % (乾燥土に対する重量比)
- ・ 断面形状 円形

のものを用いている。上記の範囲外の繊維を用いる場合や特殊な土質材料を用いる場合については、それぞれ試験を行う必要がある。また上記の要因の中で、繊維の長さL、繊維の直径D、および繊維混合比nについては、それぞれ要因別に特性を定量的に把握しておくことが望ましいが、十分なデータが蓄積できていないのが現状である。繊維混合比が大きいほど補強効果が大きいことは容易に推察されるが、繊維の長さについては、繊維の引張強度が発現されやすいと考えられる長い繊維の方が効果が大きいことが傾向として把握できている。同じく、繊維の太さについては、同じ混合比であれば土粒子との接触面積が大きい細い繊維の方が補強効果が大きい傾向が把握できている。これらが比例的に表現できるかどうかは疑問が残るが、繊維混合量の定量的指標として次のインデックス値を用いて表現する。

$$\text{インデックス値} = \frac{L}{D} \times n$$

3-4-2 力学的強度特性

1) 応力～ひずみ曲線

図3-6は粘土質砂に、図3-7はセメント系固化材により安定処理した砂質土に短繊維を混合したときの一軸圧縮試験の応力～ひずみ曲線である。図3-6に示すように、粘土質砂の場合は混合時の練り返しによる強度低下の影響があり、繊維混合比 0.2%までの繊維混合土の一軸圧縮強さは必ずしも増加しないが、破壊ひずみが大きくなりピークひずみ後の強度低下も小さく、じん性が向上していることがわかる。また、図3-7より安定処理土の場合は強度、破壊ひずみとも著しく増加している。

次に、同じ試料に対して曲げ試験をコンクリート曲げ試験法(JIS A1106)に準じて実施した結果、図3-8、図3-9のような曲げ荷重～変位図が得られているが、繊維を混合していない試料ではピークひずみを超えると脆性的な破壊となるのに対し、繊維混合土は最初のピークひずみを超えた後も、大きなひずみに至るまで強度は維持・増加し、繊維混合により、じん性が発現することが確認されている。

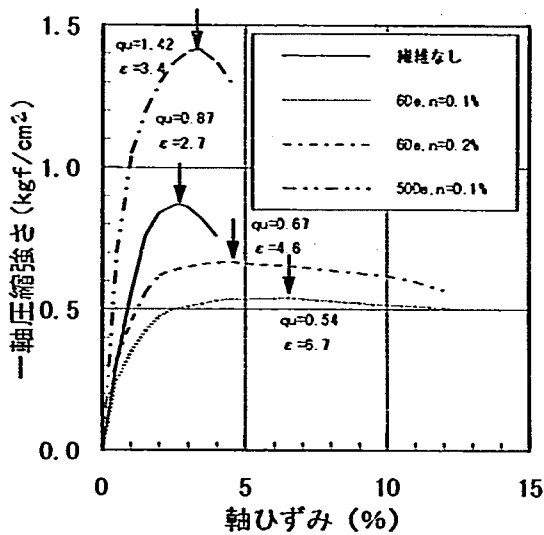


図3-6 一軸圧縮試験結果 (粘土質砂)

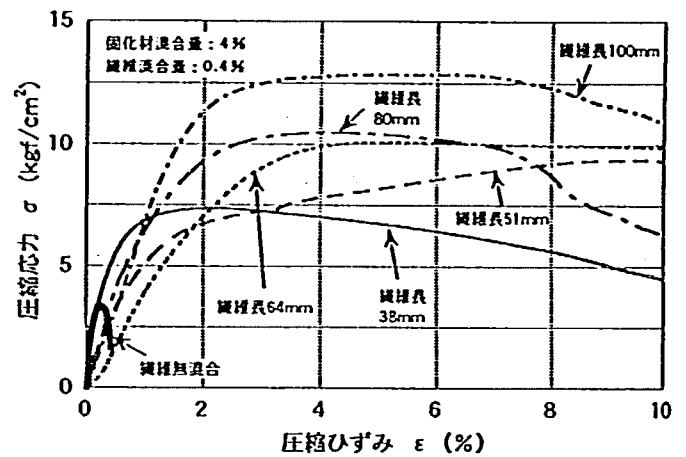


図3-7 一軸圧縮試験結果 (安定処理土)

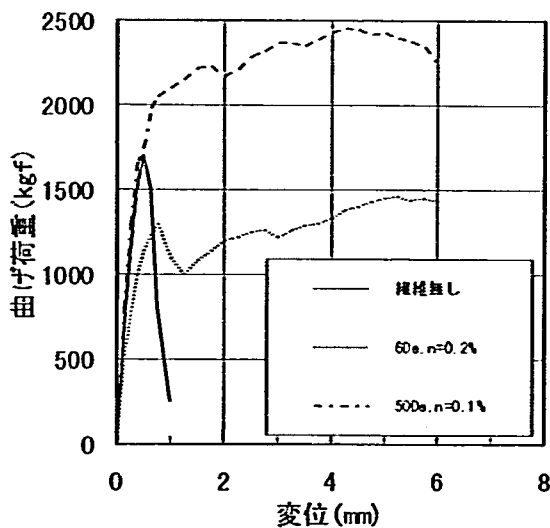


図3-8 曲げ試験結果 (粘土質砂)

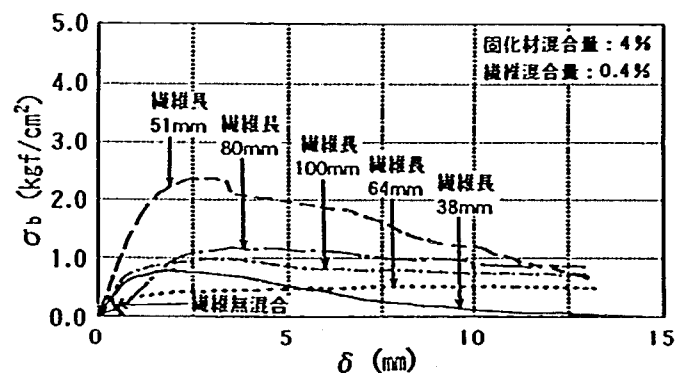


図3-9 曲げ試験結果 (安定処理土)

2) 粘性土および安定処理土の強度特性

粘性土および安定処理土の強度特性については、一軸圧縮試験により求められる一軸圧縮強さで評価するのがもっとも簡便で一般的である。インデックス値と一軸圧縮強さの関係を図3-10、図3-11に示す。図3-10は無処理土の結果、図3-11は安定処理土の結果である。いずれもインデックス値に比例して一軸圧縮強さが増加していることがわかる。

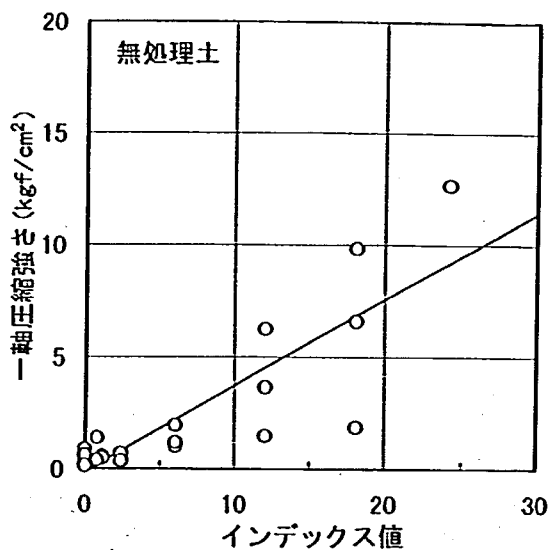


図3-10 インデックス値と一軸圧縮強さの関係

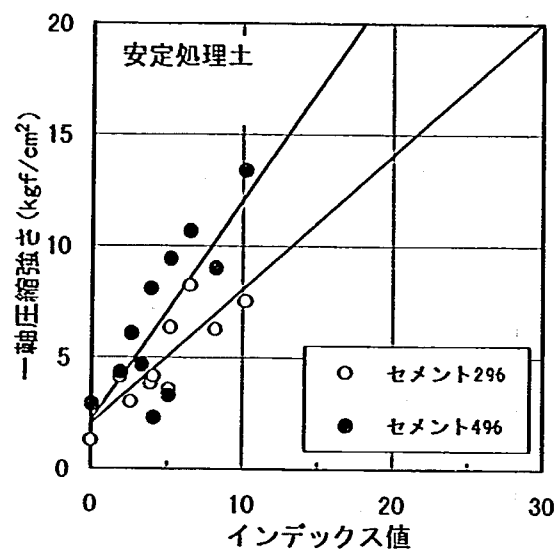


図3-11 インデックス値と一軸圧縮強さの関係

3) 砂質土の強度特性

砂質土の強度特性については、三軸圧縮試験により、その強度定数 c 、 ϕ で表現できる。図3-12はインデックス値と粘着力増分の関係を表わしたものである。この図からインデックス値が大きくなるにしたがって粘着力が増加する傾向があることがわかる。図3-13はインデックス値と内部摩擦角の関係を表わしたものである。ここで、繊維を混合した場合の内部摩擦角を繊維を混合しない場合の内部摩擦角で除したものを内部摩擦角補強比 R とする。この図から補強比 R とインデックス値の間にはよい相関が認められた。

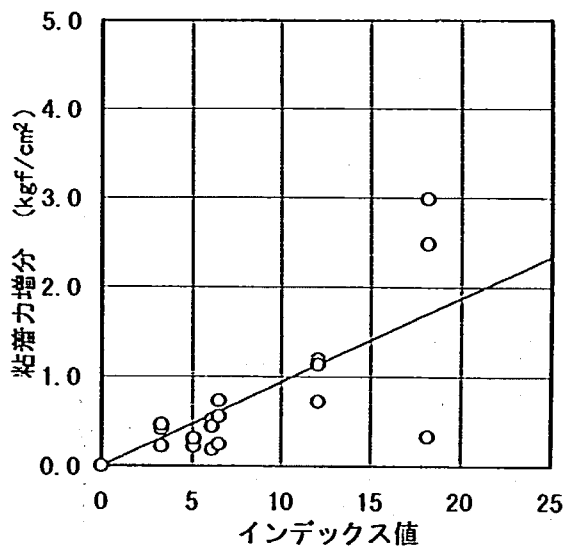


図3-12 インデックス値と粘着力増分の関係

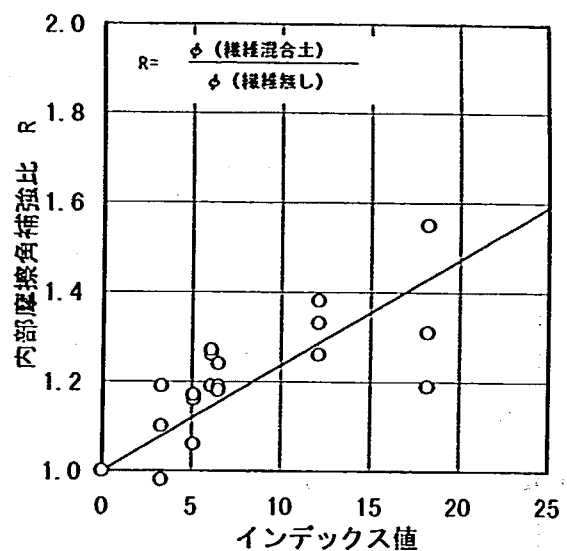


図3-13 インデックス値と内部摩擦角補強比の関係

4) 繊維混合安定処理土の耐久性

ポリエステル繊維は、強アルカリ下では劣化することがわかっている。セメント系固化材で安定処理した繊維混合土について、20℃で養生したものを7日、28日、3カ月および1年後に一軸圧縮試験とpH試験を実施した。

試験で用いた土質材料は粘性土で、セメント系固化材を乾燥重量比5%および15%で混合し、同時に長さ30mm、6Deのポリエステル繊維を0.2%混入した。

図3-14に一軸圧縮強さの経時変化を、図3-15にpHの経時変化を示す。セメント混合の初期はpH=11~12を示しているが時間の経過とともにpH値は低下し、1年後にはpH=10程度になっていることがわかる。しかし一軸圧縮強さは材令とともに強度が増加する傾向を示しており、耐久性への影響は認められない。

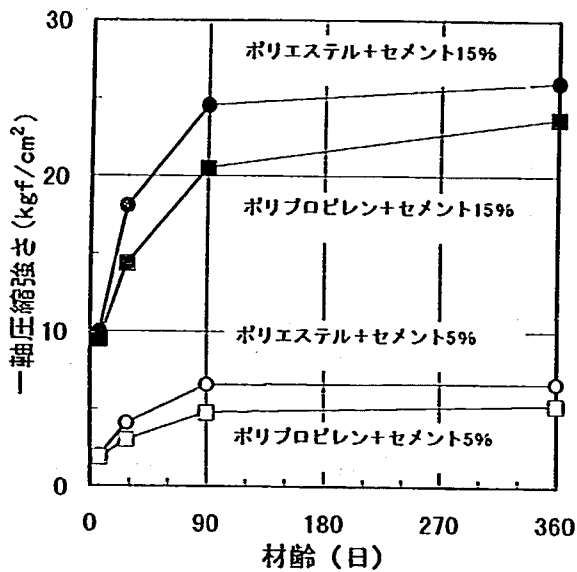


図3-14 一軸圧縮強さの経時変化

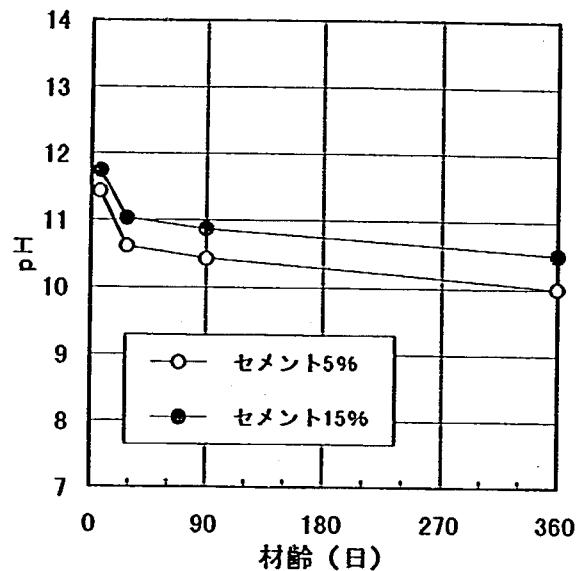


図3-15 pHの経時変化

3-4-3 流体抵抗特性

繊維混合土を盛土や切土表面に侵食防止を目的として適用する場合、降雨、流水および浸透水に対する繊維混合土の抵抗特性の把握を行う必要がある。ここでは短繊維を混合する土質を変化させて繊維混合土の流体抵抗特性を検証した既往の試験方法および結果について述べる。

1) 耐エロージョン特性

繊維を混合することにより耐エロージョン特性が増加する。図3-16はエロージョン試験装置であり、幅40cm、長さ100cm、深さ20cmの底面および側面に排水孔を有する木箱に繊維混合土を所定の締固め度で充填し、45°の勾配で設置した。この木箱上部4mの高さからノズルを用いて降雨強度100mm/hで散水し、繊維混合土の耐エロージョン特性を検討した。

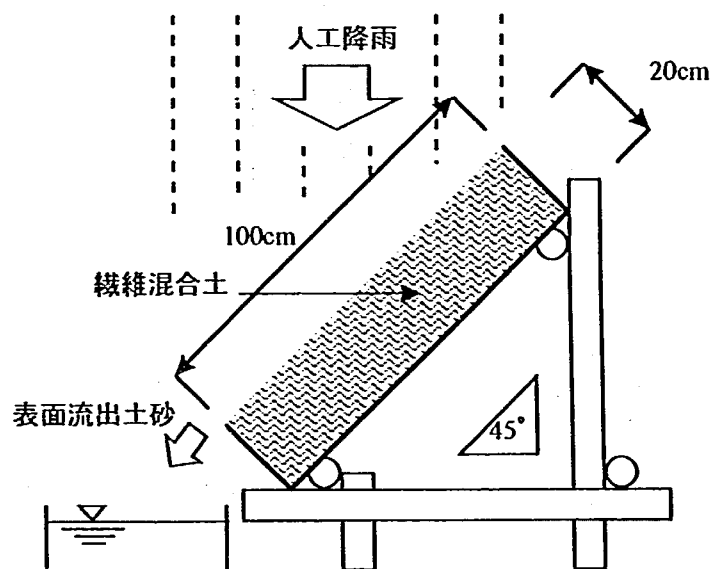


図3-16 エロージョン試験装置

散水を開始して30分ごとに測定した流出土量の変化を図3-17、3-18に示す。短繊維を混合していない砂質土では降雨開始後からすぐ土の流出が始まり、流出量が次第に多くなるのに対し、繊維混合土では繊維混合比に関わらずほとんど土の流出が見られない。次に繊維の種類と混合比および母材を変えて同様に試験を実施し、その結果を図3-19に示す。この図からも同様に繊維を混合することによる顕著な耐エロージョン効果が得られることがわかる。したがって、砂質系の材料に対しては繊維を混合することにより降雨に対する耐エロージョン効果が得られることがわかる。図3-20は粘性土によるエロージョン試験結果を示したものである。粘性土の場合は繊維を混合するしないにかかわらず、土の流出は24時間経過後も大きな相違は認められない。

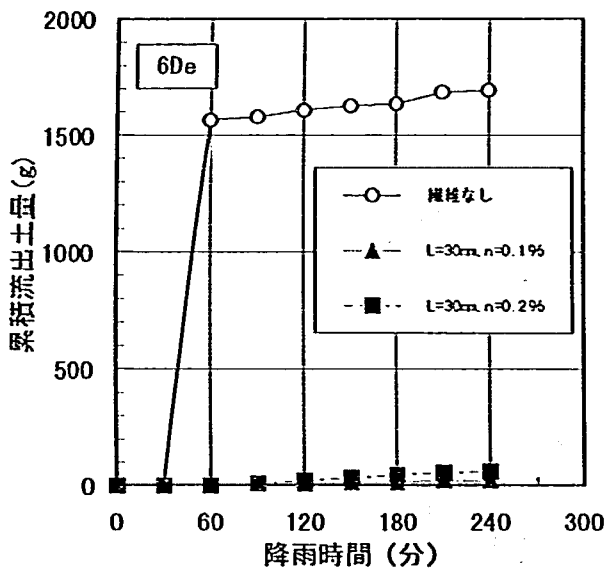


図3-17 流出土量の経時変化 (まき土)

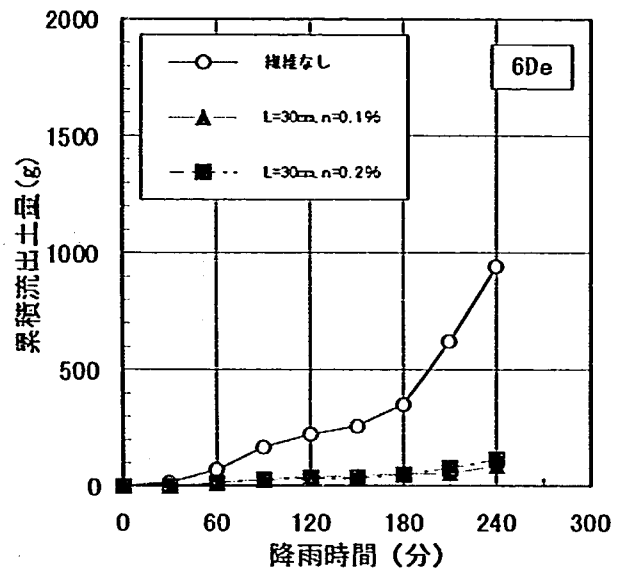


図3-18 流出土量の経時変化 (砂質土)

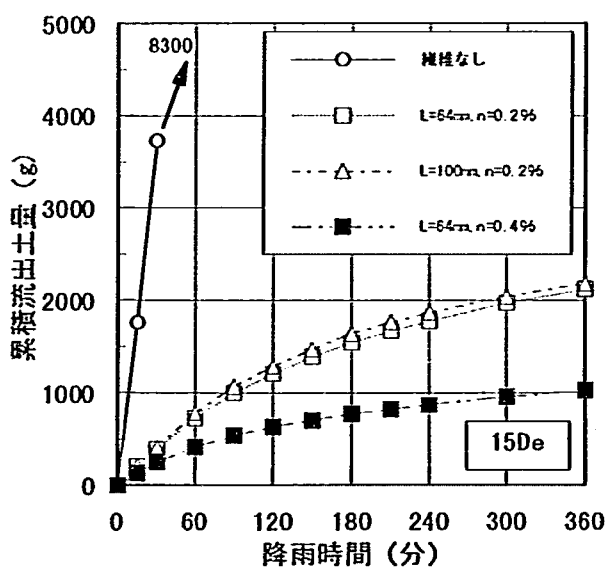


図3-19 流出土量の経時変化 (砂質土)

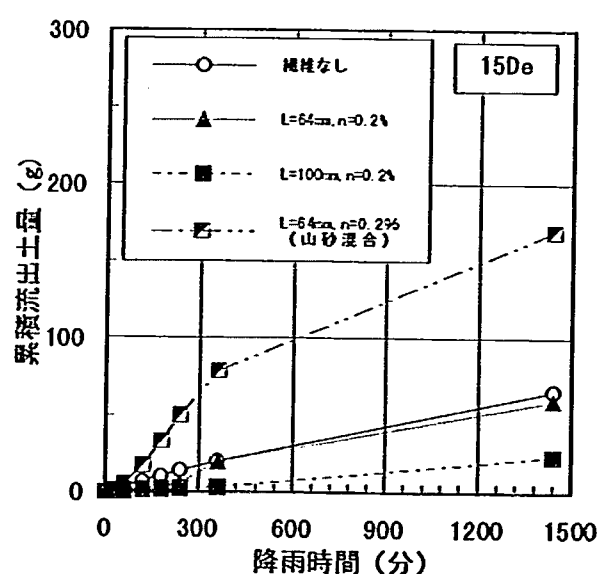


図3-20 流出土量の経時変化 (粘性土)

2) 洗掘抵抗特性

堤体表面を繊維混合土で被覆した場合の適用性を検討するため、流水による洗掘作用に抵抗する洗掘抵抗試験を行った。

実験に使用した試験装置は図3-21に示すように断面が幅0.3m、高さ0.3m、長さは助走区間 5.0m、と供試体区間1.5m、下流区間2.5mからなる合計 9.0mの直線閉水路である。供試体部分は箱抜きになっており、モールドに供試体を作製後そのまま設置し、徐々に毛管飽和させて24時間放置した後に試験を実施した。

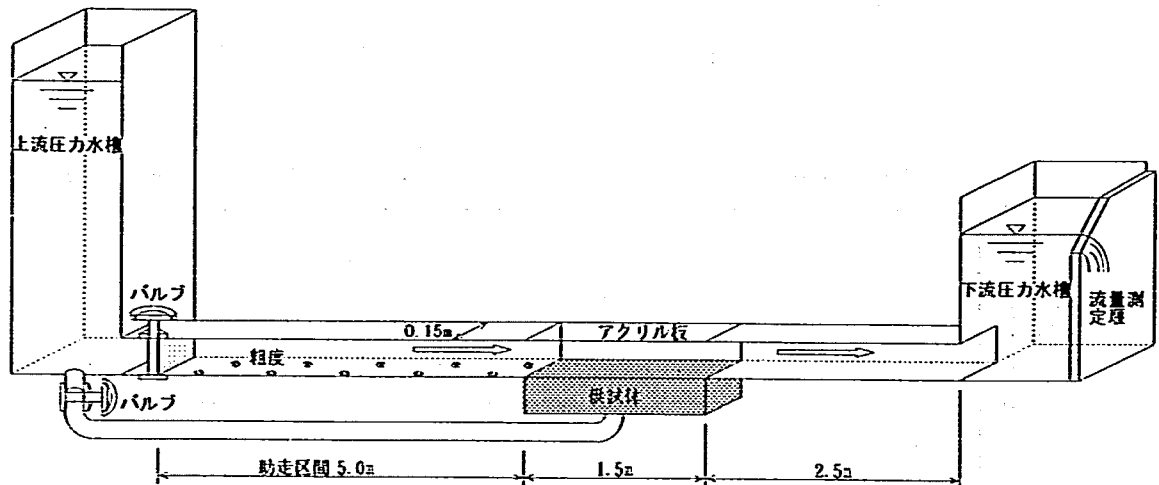


図3-21 洗掘抵抗試験装置

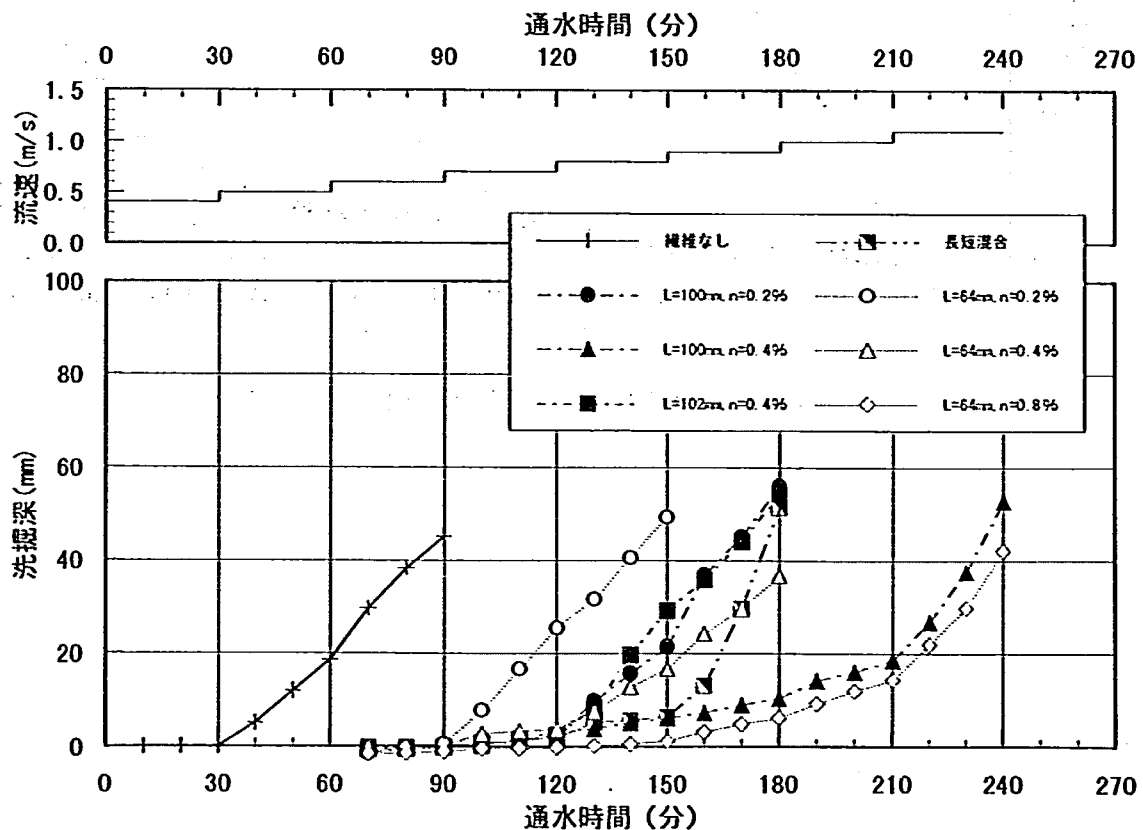


図3-22 流速および洗掘深の経時変化（珪砂）

実験は供試体の表面に0.1m/s毎に低流速より順に段階的に通水し、図3-22～23に示すように1流速で10分間ごとに各3回、洗掘深を測定した。

流速および洗掘深の経時変化を図3-22～23に示す。図中上部に示している流速は、流量設定堰で設定した流速である。この図から、珪砂や粘性土に繊維を混合することにより洗掘抵抗が増加していることがわかる。また、同一繊維混合比で比較すると、繊維長さが長い場合に洗掘抵抗が増加している。さらに、洗掘は通水初期の段階は徐々に進行するが、ある程度通水時間が進行し、流速が大きくなると急激に洗掘が増大している。洗掘が急激に進行する直前の流速を限界流速とするときの限界流速とインデックス値の関係は図3-24のようになる。この図から限界流速とインデックス値の間には良い相関が認められる。

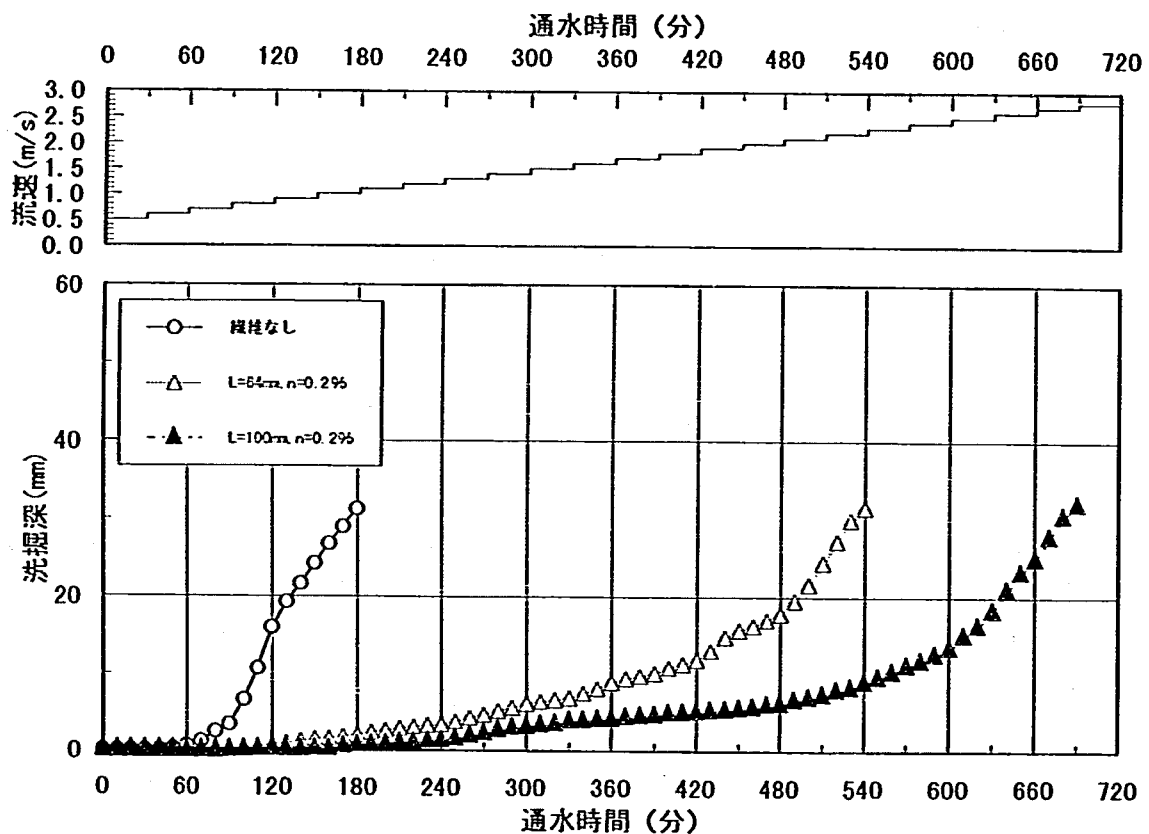


図3-23 流速および洗掘深の経時変化 (粘性土)

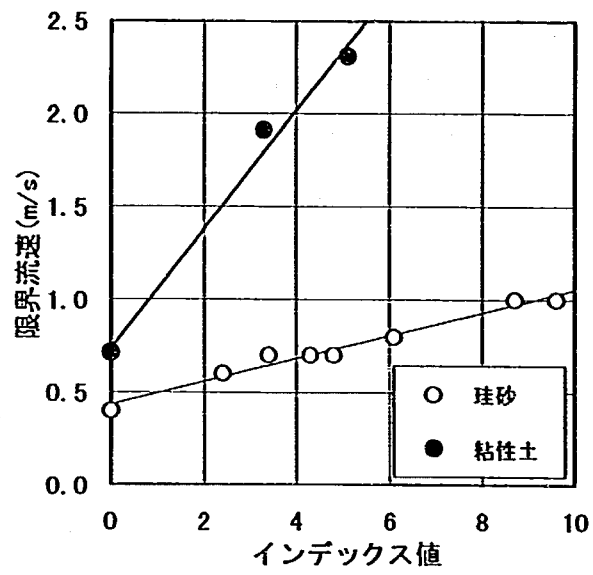


図3-24 インデックス値と限界流速の関係

3). パイピング特性

繊維混合土はパイピングに対しても抵抗が大きくなる。砂質土に短繊維を 0.2%混合した繊維混合土を用いて、幅60cm、長さ120cm、深さ20cm の小型模型地盤を製作し、粘性土で押さえ盛土をしたパイピング模型装置の概要を図3-25に示す。実験は押さえ盛土に水頭差 ΔH を与える場所より30cm、直径2.5cmの穴を弱点箇所として設置し、模型地盤に徐々に水頭差を加えパイピング現象の有無を観測している。結果は図3-26に示すように砂質土のみの場合は $\Delta H=26\text{cm}$ で弱点箇所より砂と水が激しく噴出するパイピング現象が確認されたが、短繊維を0.2%混合した繊維混合土は $\Delta H=40\text{cm}$ 近くなくても大きな変化は見られず、繊維混合土はパイピングの防止効果が高いことがわかる。

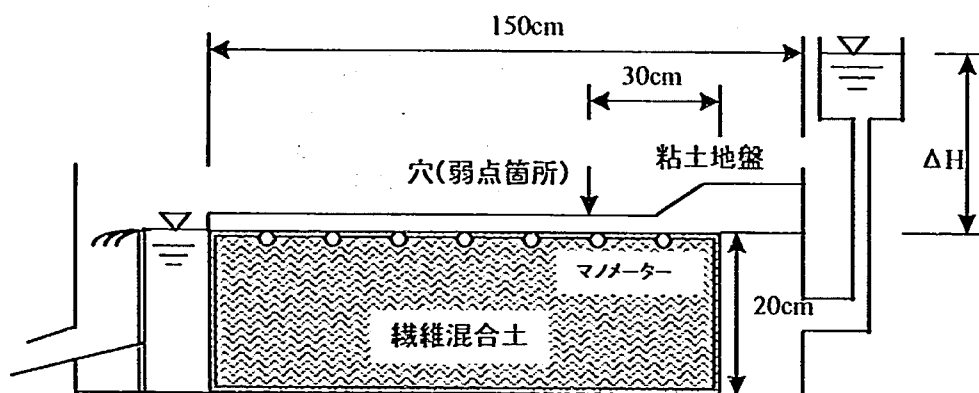


図3-25 パイピング模型試験

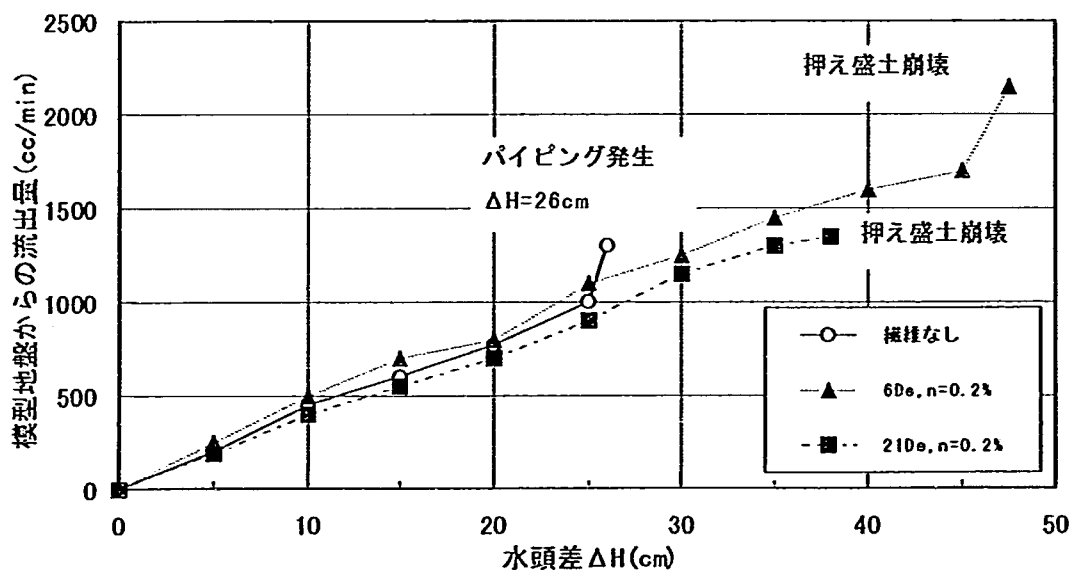


図3-26 パイピング試験結果

3-4-4 その他の工学的特性

1) 締固め特性

繊維混合土の繊維混合比 0.2% の場合の締固め試験結果を図3-27に示す。短繊維を混合すると最大乾燥密度が増大し、最適含水比が減少する傾向が得られた。

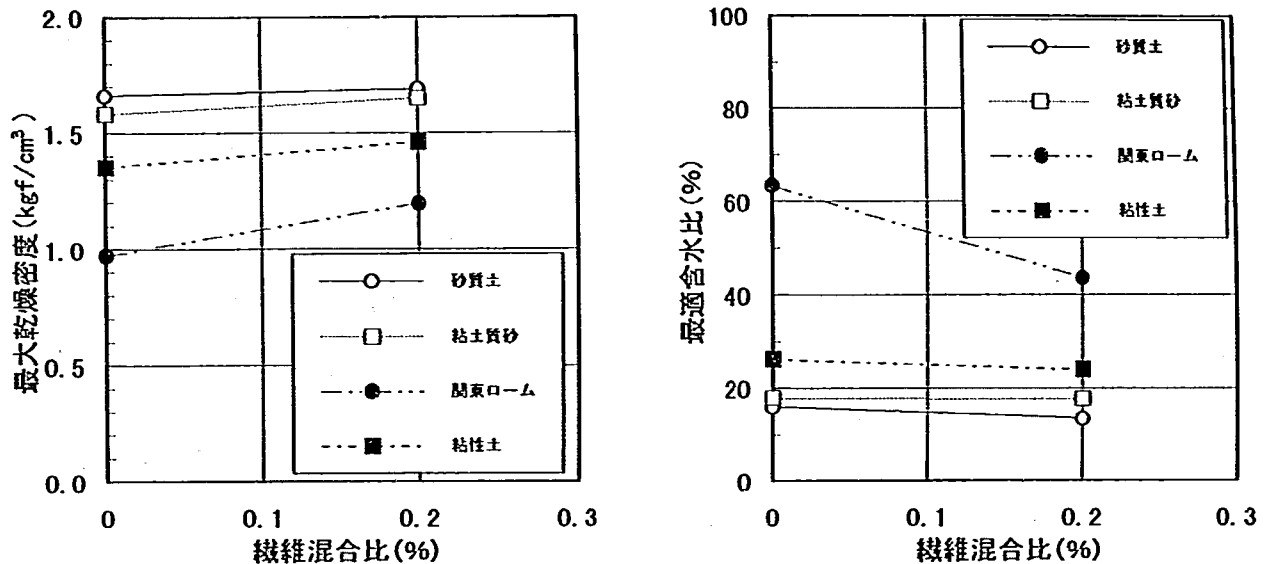


図3-27 締固め特性

2) 圧密特性

繊維混合による圧密特性は、繊維を混合しない場合と比較して、顕著な相違は認められない。

3) 液状化強度特性

繊維混合による液状化強度は、繊維を混合しない場合と比較して、顕著な相違は認められないが、破壊ひずみの増加や粘り強さが発揮されている傾向がある。

4) 透水特性

繊維混合土の pF ～水分曲線は、繊維を混合しない場合と比較して、顕著な相違は認められない。また、繊維を混合した砂質土の透水係数は、セメント添加の有無にも関わらず、繊維を混合しない場合と比較して、顕著な相違は認められない。

第3章 参考文献

- 1) 日本化学繊維協会：繊維ハンドブック91年度版，1991
- 2) 三木博史，林 義之，青山憲明：発生土の高付加価値化技術の開発，土木技術資料，34-11，pp.58-65，1992
- 3) 林 義之，喜志多聡，陣内直樹，吉川 進，熊田哲規：繊維混合補強土に関する研究（その1）－安定処理土の室内土質試験－，第27回土質工学研究発表会論文集，pp.2435-2436，1992
- 4) 林 義之，安部克郎，増井 仁，岡村康弘，滝瑛一路：繊維混合補強土に関する研究（その2）－無処理土の室内土質試験－，第27回土質工学研究発表会論文集，pp.2437-2438，1992
- 5) 三木博史，千田昌平，堀内晴生，川西順次，近藤誠宏：繊維混合補強土に関する研究（その3）－耐エロージョン効果確認実験－，第27回土質工学研究発表会論文集，pp.2439-2440，1992
- 6) 林 義之，高橋 勇，尾崎健一郎，滝瑛一路，水野義則：繊維混合補強土に関する研究（その4）－安定処理土のpH変化と繊維の耐アルカリ性－，第28回土質工学研究発表会論文集，pp.2685-2686，1993
- 7) 林 義之，安部克郎，増井 仁，近藤誠宏，川西順次：繊維混合補強土に関する研究（その5）－混合土の諸特性－，第28回土質工学研究発表会論文集，pp.2687-2688，1993
- 8) 三木博史，千田昌平，堀内晴生，村井 宏，新坂孝志：繊維混合補強土に関する研究（その6）－流水に対する洗掘試験－，第28回土質工学研究発表会論文集，pp.2689-2690，1993
- 9) 三木博史，林 義之，菅原賢一，福山慎一，岡村康弘，堀内晴生，長坂勇二：繊維混合補強土に関する研究（その8）－堤防法面への試験施工－，第29回土質工学研究発表会論文集，pp.7-8，1994
- 10) 三木博史，林 義之，森 邦夫，加津憲章：繊維混合土の利用技術の開発，土と基礎，vol.42，No.11，pp.11-16，1994
- 11) 三木博史，持丸章治，福山慎一，田島健司，尾崎健一郎：繊維混合補強土に関する研究（その9）－洗掘抵抗評価試験－，第30回土質工学研究発表会論文集，pp.2409-2410，1995
- 12) 三木博史，持丸章治，新坂孝志，西村 淳，田島健司：繊維混合補強土に関する研究（その12）－洗掘抵抗評価試験（その2）－，第31回地盤工学研究発表会論文集，pp.2443-2444，1996
- 13) 持丸章治，千田昌平，増井 仁，川西順次，渡辺則雄：繊維混合補強土に関する研究（その13）－現場混合による繊維混合安定処理土の強度特性－，第31回地盤工学研究発表会論文集，pp.2445-2446，1996
- 14) Hiroshi Miki, Shoji Mochimaru, Kunio Mori, Tetunori Kumada, Kenji Tajima: Erosion resistance properties of Fiber-reinforced soil, *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement (IS Kyushu'96)*, Fukuoka, Kyushu, Japan, pp.107-110, 1996
- 15) Hiroshi Miki, Kunio Mori, Noriaki Katu, Yuuji Nagasaka: Anti-hydrodynamic properties of Fiber-reinforced soil and its application, *Proceedings of the first European Geosynthetics Conference (EUROGEO I)*, Maastricht, Netherlands, pp.411-418, 1996

第4章 設計法

4-1 設計の種別

繊維混合土の適用目的には、力学的強度特性の向上による土構造物の補強、耐侵食・洗掘抵抗の向上によるのり面表層部の保護、安定処理土のひび割れ防止などがあり、繊維混合土の設計法は、それぞれの適用目的に応じて異なる。そこで以下に、繊維混合土を、

①盛土や切土ののり面保護工

②盛土や切土の土留め擁壁

③盛土の補強工

に適用する場合の設計法の概要を示す。ただし、繊維混合土工法は、最近、ようやく施工法が確立されて実用化への展開が始まったばかりであり、これまでに土留め擁壁や盛土補強工のような土構造物に対する設計・施工事例がないが、将来的に有用な利用方法であると考えられるため、一つの考え方を紹介することにした。

4-2 のり面保護工の設計法

4-2-1 適用範囲

繊維混合土には、土に短繊維を混合することにより、せん断強度が増大し、粘り強さ（じん性）が付与される。また、繊維混合土は降雨や流水による侵食に対しても抵抗性を有する。これらの性質を利用して繊維混合土を盛土や切土ののり面保護工として用いる場合の設計法を以下に示す。この場合、のり面の勾配は1:1.0より緩く、安定勾配で施工されたのり面の表層部の保護として使用するケースに適用するものとする。

4-2-2 設計法

のり面保護工の設計手順を図4-1に示す。

設計厚さは、のり面保護工としての機能を発揮できる厚さであること、植生基盤として十分な厚さを有することや施工性などの観点から30cmを基本とする。ただし、気象条件が厳しい場合や木本類による緑化など特別な事情がある場合は、別途検討する。

のり面勾配がのりを構成する土質材料の安息角よりも急な場合は、アンカーピン等の補助工法により繊維混合土の滑落を防止する。

のり面の長さが長い場合など雨水が局部的に集中してのり面を流れることを防ぐため、のりの天端部や小段に排水溝を施す。

繊維混合土の流体に対する抵抗性能は植生を施すことによりさらに高まるため、のり面保護工の完成後なるべく早い時期に植生を施す。

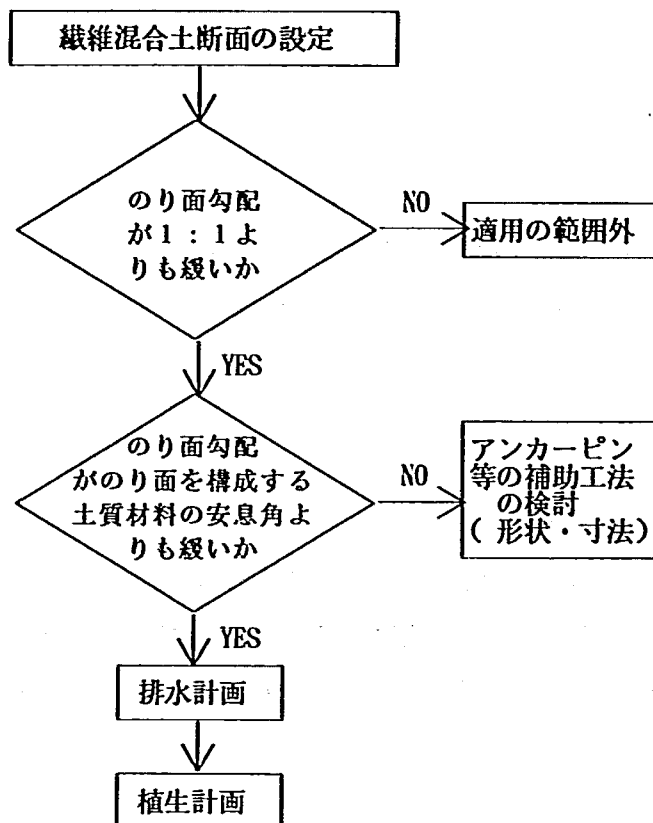


図4-1 のり面保護工の設計手順

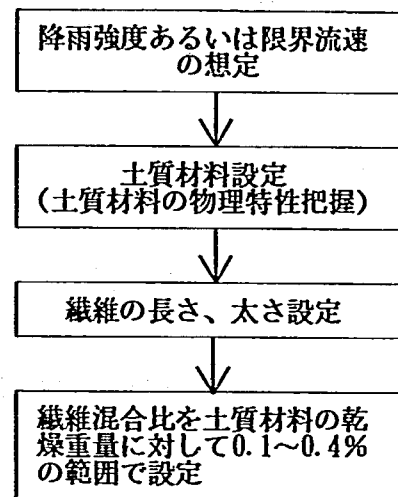


図4-2 繊維混合土配合の概略フロー

4-2-3 材料の配合

繊維混合土をのり面保護工に適用する場合における配合の概略フローを図4-2に示す。

繊維混合土の流水抵抗は、インデックス値が大きくなるほど増加する傾向がある。つまり、繊維が長いほど、細いほど、そして混合比が大きいほど繊維混合土の流水抵抗が大きくなると考えられる。しかし、現在の混合装置で均質に混合するには、繊維の長さは50～100mm、太さは6～20De、混合比は0.1～0.4%の範囲内で使用することが望ましい。ただし、繊維混合土を河川堤防の被覆工に適用する場合のように、繊維混合土に高い流水抵抗性能が求められる場合には、3-4-3に示した既存の試験結果を参考にして、使用する土質材料と繊維の混合土のエロージョン試験や洗掘試験を行い、目標のエロージョン抵抗や洗掘抵抗が得られる材料の配合を求める。

4-3 土留め擁壁の設計法

4-3-1 適用範囲

繊維混合土には、土に短繊維を混合することにより、せん断強度が増大し、粘り強さ（じん性）が付与される。また、繊維混合土は降雨による侵食に対しても抵抗性を有する。これらの性質を利用して繊維混合土を盛土や切土の土留め擁壁材料として用いる場合の設計法を以下に示す。この場合、土留め擁壁の高さは8m以内とし、のり面勾配は、工事完成後土留め擁壁の表面に植生を施すことを考慮して1:0.5より緩くす

るものとする。また、擁壁上端部の壁厚は50cm以上とする。

4-3-2 設計法

土留め擁壁の設計手順を図4-3に示す。土留め擁壁の設計安全率としては表4-1に示す値とする。

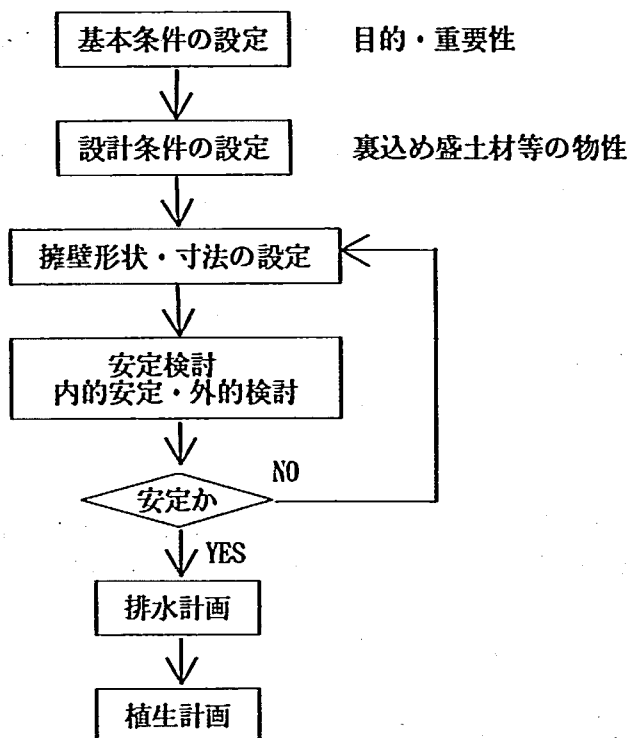


図4-3 土留め擁壁の設計手順

表4-1 土留め擁壁の設計安全率

	検討項目	設計安全率	
		常 時	地震時
内的安定	土圧による擁壁 内部のせん断 (直線すべり)	1.5	1.2
	壁体を通る 円弧すべり	1.2	1.0
外的安定	転 倒	1.5	1.2
	滑 動	1.5	1.2
	支 持 力	3.0	2.0
	擁壁の外側を通る 円弧すべり	1.2	1.0

1) 内的安定

内的安定の検討は以下の項目について実施する。

- ・直線すべり：土圧等によるせん断力に対する、擁壁内部のせん断抵抗の検討を行う。
- ・円弧すべり：擁壁内部を通過する円弧すべりに対して安定の検討を行う。

直線すべりの検討は、図4-4に示すように擁壁内に任意の直線すべり面を仮定し、土圧等の外力および擁壁の重量などによるせん断力と、繊維混合土を用いた土留め擁壁の持つ極限せん断抵抗力を求め、式(4-1)～式(4-4)から求める。

土圧の算定は試行くさび法によって行い、その際の土圧合力の作用位置は試行くさび高さの1/3の点とする。また、擁壁背面と裏込め土の摩擦角は、裏込め土の内部摩擦角の2/3とする。

$$F_{S_{min}} = (T_{max} / S_{wa})_{min} \geq \text{設計安全率} \quad \text{----- (4-1)}$$

$$T_{max} = \tau_c(\sigma) \times L \quad \text{----- (4-2)}$$

$$\sigma = R / L \cdot \cos(\beta + \theta) \quad \text{----- (4-3)}$$

$$S_{wa} = R \cdot \sin(\beta + \theta) \quad \text{----- (4-4)}$$

ここに、

$F_{S_{min}}$: 最小安全率

T_{max} : 擁壁内の仮想すべり面において発揮される繊維混合土の極限せん断抵抗力

$\tau_c(\sigma)$: 土質試験結果から得られる c 、 ϕ と鉛直応力 σ によって決まるせん断力

L : abの長さ

S_{wa} : 擁壁内の仮想すべり面に働くせん断力

R : 擁壁の重量と土圧等の合力

β : 仮想すべり面と水平とのなす角度

θ : 合力 R と鉛直とのなす角度

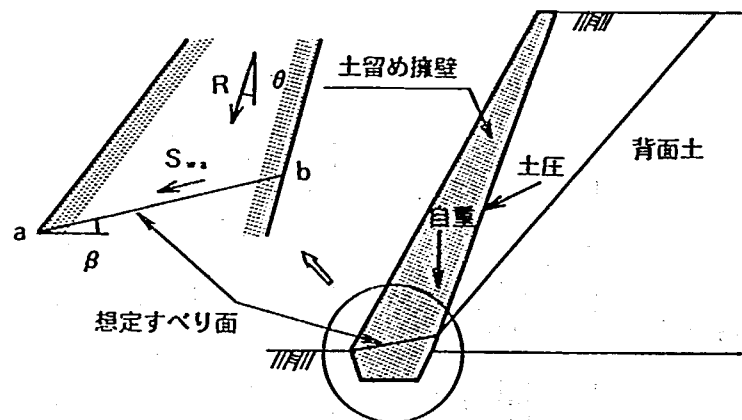


図4-4 直線すべりに対する安定検討概念図

円弧すべりの検討は図4-5に示すように、擁壁内部を通過する任意の円弧すべりに対して、起動モーメントと抵抗モーメントを求め式(4-5)～式(4-7)に従って行う。

$$F_{S_{min}} = (Mr / Mn)_{min} \geq \text{設計安全率} \quad \text{----- (4-5)}$$

$$Mr = R \sum \{ c l + (W - u b) \cos \alpha \cdot \tan \phi \} \quad \text{----- (4-6)}$$

$$Mn = R \sum W \sin \alpha \quad \text{----- (4-7)}$$

ここに、

$F_{S_{min}}$: 最小安全率

M_r : 抵抗モーメント

M_m : 起動モーメント

R : すべりの円弧の半径

c : 裏込め土または繊維混合土の粘着力

ϕ : 裏込め土または繊維混合土のせん断抵抗角

l : 分割片で切られたすべり面の弧長

W : 分割片の土塊重量

u : 間隙水圧

b : 分割片の幅

α : 分割片で切られたすべりの中心とすべり円の中心点を結ぶ直線が鉛直となす角度

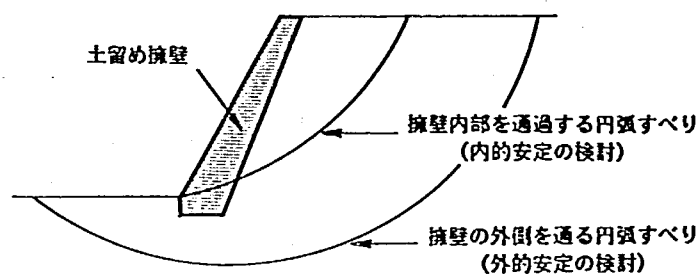


図4-5 円弧すべりの概念図

2) 外的安定

外的安定の検討は道路土工指針等のもたれ擁壁の設計法に準拠し、滑動、転倒、基礎地盤の支持力、および図4-5の中に示した擁壁の外側を通る円弧すべりに対して行う。

3) 排水・植生計画

壁面の長さが長い場合など雨水が局部的に集中して壁面を流れることを防ぐため、擁壁の天端部や小段に排水溝を施す。

繊維混合土の侵食・洗掘に対する抵抗性能は植生を施すことによりさらに高まるため、土留め擁壁工の完成後なるべく早い時期に擁壁の表面に植生を施す。

4-3-3 材料の配合

配合の概略フローを図4-6に示す。

繊維混合土を土留め擁壁に適用する場合には、3-4-2に示した既存の試験結果を参考にして、使用する土質材料と繊維の混合土の強度試験を行い、目標強度が得られる材料の配合を求める。

繊維混合土の強度は、インデックス値が大きくなるほど増加する傾向がある。つまり、繊維が長いほど、細いほど、そして混合比が大きいほど繊維混合土の強度が大きくなると考えられる。しかし、現在の混合装置で均質に混合するには、繊維の長さは50~100mm、太さは6~20De、混合比は0.1~0.4%の範囲内で使用することが望ましい。

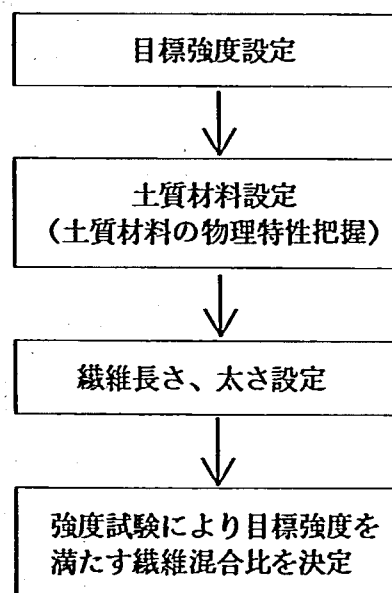


図4-6 繊維混合土配合の概略フロー

4-4 盛土補強工の設計法

4-4-1 適用範囲

繊維混合土には、土に短繊維を混合することにより、せん断強度が増大し、粘り強さ（じん性）が付与される。この性質を利用して繊維混合土を盛土補強工材料として用いる場合の設計法を以下に示す。この場合、盛土の高さは8m以内とし、のり面勾配は、1:1.0より緩くするものとする。また、盛土ののり面には4-2に述べたのり面保護工を施すものとする。

大地震に液状化が生じるような砂質地盤、軟弱な粘土地盤上の盛土や

(a)万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合¹⁾

(b)万一崩壊すると復旧に長期間を要し、道路機能を著しく阻害する場合¹⁾

は本工法の対象外とする。これ以外の通常規模の盛土では常時の設計計算における安全率の中に地震荷重の影響も考慮されていると考え、地震時の設計計算を行わないでよいこととする。

4-4-2 設計法

盛土補強工の設計手順を図4-7に示す。盛土補強工の設計安全率としては表4-2に示す値とする。

繊維混合土の補強層の厚さは、補強層としての機能を発揮できる厚さであることや施工性などの観点から、締固め仕上がり厚さで30cmを基本とする。なお、盛土内における補強層は盛土の全幅にわたって設置することを原則とする。

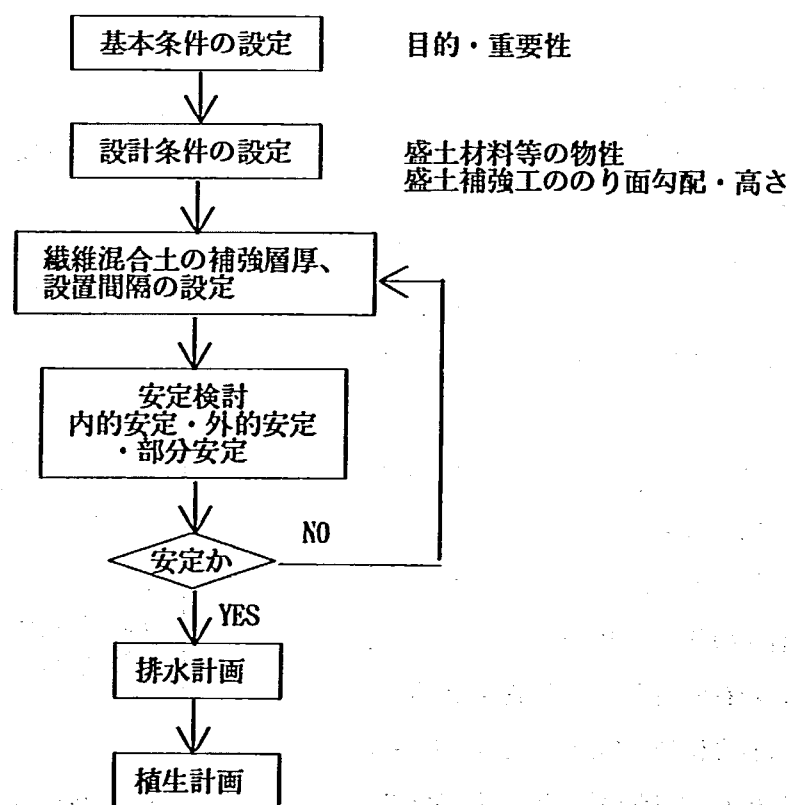


図4-7 盛土補強工の設計手順

安定の検討に用いる盛土材料、基礎地盤、繊維混合土の土質定数は土質試験を行って決定する。道路土工指針等に示されるように、安定計算に用いる強度定数 c 、 ϕ を求めるには、安定の検討時期を考慮し、材料の透水性や現場の排水条件に見合った試験条件のもとで試験を行う必要がある。例えば、施工後長期間経過した時点での盛土の安定を検討する場合、材料の透水性が低い場合は圧密非排水条件（CU）、また、材料の透水性が高い場合は圧密排水条件（CD）のもとで得られた強度定数を用いる。

表4-2 盛土補強工の設計安全率

項 目	安全率
内的安定 (繊維混合土の補強層を設置した領域の内部を通る円弧すべり)	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
外的安定 (繊維混合土の補強層を設置した領域の外側を通る円弧すべり)	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
部分安定 (繊維混合土の補強層に挟まれたのり面の領域の内部を通る円弧すべり)	$F_s \geq 1.5$

1) 内的安定

内的安定の検討は、図4-8に示すように繊維混合土の補強層を設置した領域の内部を通る円弧すべりに対して起動モーメントと抵抗モーメントを求め、式(4-5)～式(4-7)に従って行う。

補強層の設置間隔（補強層の中心間距離）は補強層および盛土材料の締固め仕上がり厚さを考慮して設定する。補強層は等間隔に設置することを原則とする。内部安定を確保するための補強層の設置間隔には表4-3に示す上限を設ける。

なお、盛土材料として高含水比で透水性の低い材料を用いる場合、圧密促進用の排水材としてジオテキスタイルを併用することも考えられる。

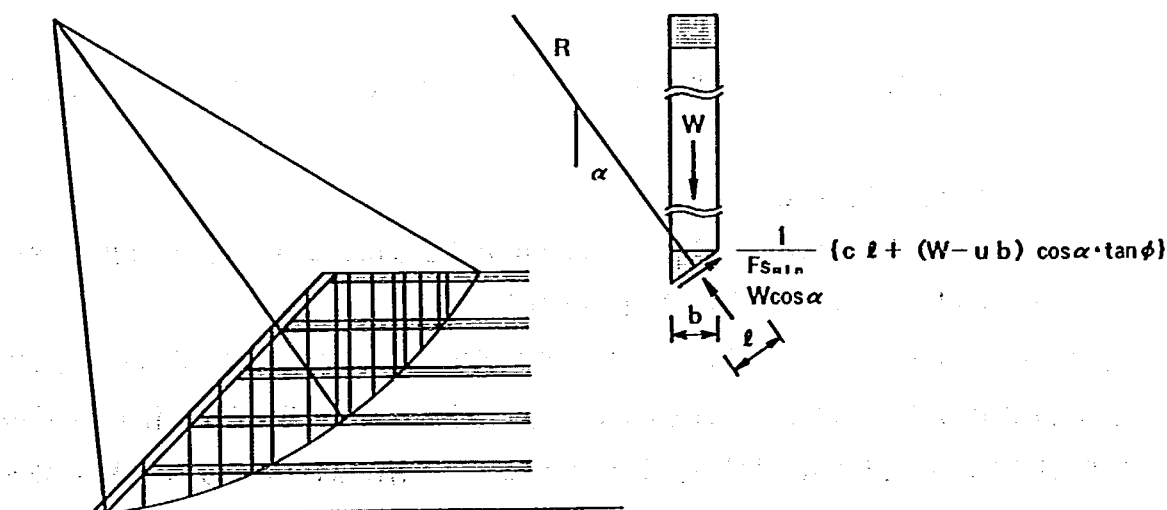


図4-8 円弧すべりによる内的安定の検討方法

表4-3 内部安定を確保するための補強層の設置間隔と総数

設置間隔	設置総数
180cm以内	3層以上

2) 外的安定

外的安定検討は、図4-9に示すように片切り片盛土の境界を通る円弧すべりや盛土の基礎地盤を通る円弧すべりのように、補強層を設置した領域の外側を通る円弧すべりに対して、内的安定の検討と同様に式(4-5)～式(4-7)に従って行う。

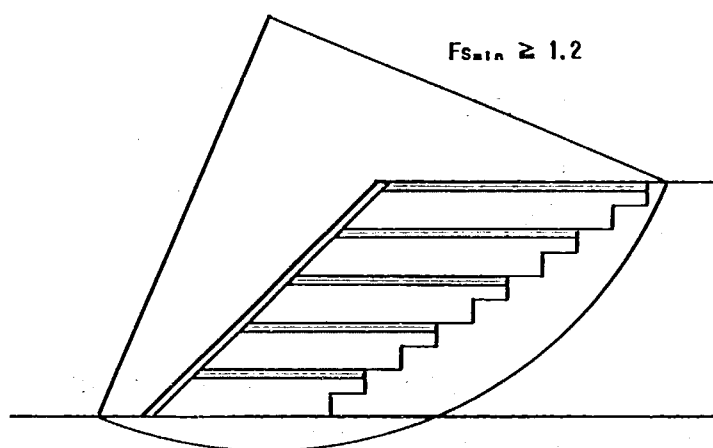


図4-9 円弧すべりによる外部安定の検討方法

3) 部分安定

補強層の設置間隔が広くなる場合は、補強層に挟まれた部分ののり面の安定を検討する。検討項目は、エロージョン、補強層に挟まれた土塊の部分安定および施工時の締固め機械によるのり面の安定である。

①エロージョンに対する検討

盛土ののり面には、雨水に対するのり面の侵食防止を目的として4-2に述べたのり面保護工を施すものとする。

②補強層に挟まれた土塊の部分安定に対する検討

補強層に挟まれた土塊の部分安定に対する検討は、図4-10に示すように、この部分を通る円弧すべりに対して、内的安定の検討と同様に式(4-5)～式(4-7)に従って行う。

検討の結果、部分安定が確保できない場合、繊維混合土の内的安定に対して必要な補強層の各層間に部分安定を確保するための補強層を設置し、再度部分安定の検討を行う。なお、部分安定を確保するための補強層の設置長は2m程度以上確保するものとする。また、部分安定の検討に際して、のり面保護工の強度は計算の中に入れないものとする。

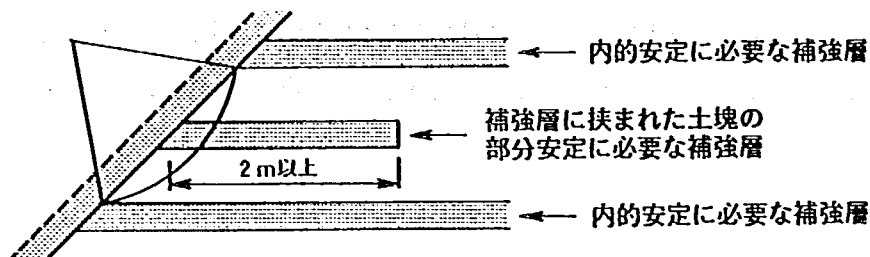


図4-10 円弧すべりによる土塊の部分安定の検討方法

③施工時の締固め機械によるのり面の安定に対する検討

施工時の締固め機械によるのり肩部のすべりに対する安定の検討は、図4-11に示すように、重機重量による上載荷重を含む円弧すべりに対して、内적安定の検討と同様に式(4-5)～式(4-7)に従って行う。

検討の結果、部分安定が確保できない場合、繊維混合土の内적安定に対して必要な補強層の各層間に部分安定を確保するための補強層を設置し、再度部分安定の検討を行う。なお、部分安定を確保するための補強層の設置長は、すべり線から2 m程度以上確保するものとする。また、部分安定の検討に際して、のり面保護工の強度は計算の中に入れないものとする。

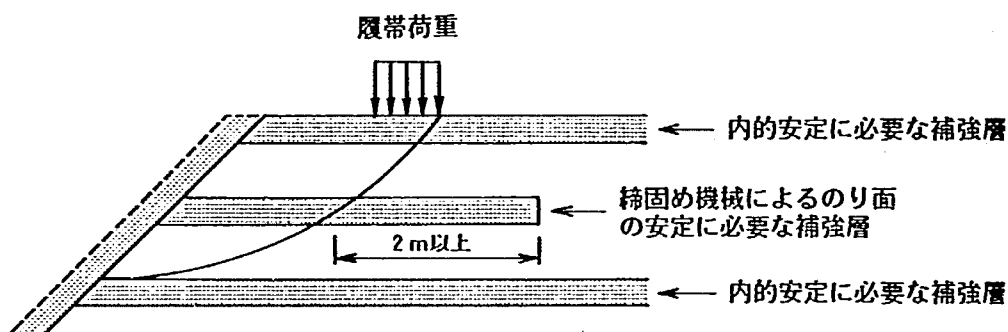


図4-11 円弧すべりを用いた締固め機械によるのり面の安定の検討方法

4) 排水・植生計画

盛土のり面の長さが長い場合など雨水が局部的に集中してのり面を流れることを防ぐため、盛土の天端部や小段に排水溝を施す。

繊維混合土の侵食・洗掘に対する抵抗性能は植生を施すことによりさらに高まるため、盛土補強工の完成後なるべく早い時期にのり面保護工に植生を施す。

4-4-3 材料の配合

配合の概略フローを図4-12に示す。

繊維混合土を盛土補強工に適用する場合には、3-4-2に示した既存の試験結果を参考にして、使用する土質材料と繊維の混合土の強度試験を行い、目標強度が得られる材料の配合を求める。

繊維混合土の強度は、インデックス値が大きくなるほど増加する傾向がある。つまり、繊維が長いほど、細いほど、そして混合比が大きいほど繊維混合土の強度が大きくなると考えられる。しかし、現在の混合装置で均質に混合するには、繊維の長さは50～100mm、太さは6～20De、混合比は0.1～0.4%の範囲内で使用することが望ましい。

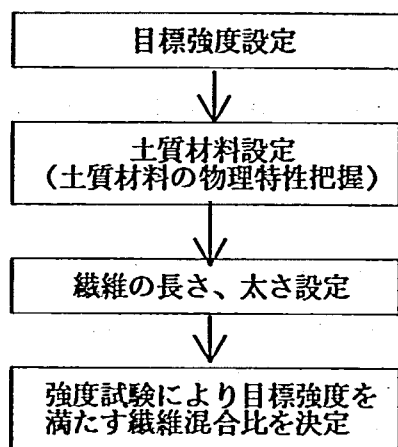


図4-12 繊維混合土配合の概略フロー

第4章 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工－のり面工・斜面安定工指針，p. 154，1986.

第5章 施工法

5-1 概説

繊維混合土は、土または安定処理土に短繊維を混合し、破壊やひび割れ防止のための粘り強さや、侵食防止効果の向上を図った盛土体の構築に利用されるものである。繊維混合土の施工対象は、盛土、擁壁、多自然型護岸、ブレイグランドなど多岐にわたる。繊維混合土は、繊維材料と土質材料からなる。また、繊維混合安定処理土の場合は、繊維材料、土質安定処理材料および土質材料からなる。繊維材料や土質安定処理材料は、工場で製造される所定の規格製品が施工現場に搬入されるため、品質は確保されている。これに対して混合対象の土質材料は、自然に存在する土砂を使用するため、産出場所や施工時の状態によって、性状が大きく変化することに注意する必要がある。したがって、施工にあたっては、十分な検討を基にして施工計画を立案し、この詳細な計画に従って施工が進められなければならない。

繊維混合土の施工は、特殊な混合機械を使用し、通常の土工事ではあまり使用しない飛散しやすい短繊維を使用するため、施工に従事するもの全員が施工上の手順や注意事項をよく理解し、入念な施工ができるように周知徹底させることが必要である。

5-2 施工計画の立案

施工計画の立案に当たっては、道路土工施工指針¹⁾にも示されるように、設計図書に示される形状、品質を現地の状況と整合を取りながら施工できるよう注意しなければならない。

施工計画には、施工方法の選定、工程計画、機械計画、労務計画、資材計画、現場施工体制、仮設準備計画、安全衛生管理計画、施工管理体制計画、周辺環境の保全計画等が含まれる。設計・積算時に於いては基本的な計画を作成し、施工に当たっては詳細な計画を作成する。

繊維混合土は、のり面の被覆材（土羽土）、盛土材料あるいは地下構造物の埋戻し材料として用いられる。したがって、適用用途や目的を明確に把握して、要求される性能を十分発揮できるように、施工計画を立案する必要がある。例えば、のり面の被覆材に適用される繊維混合土に要求される性能は、のり面に植物が活着、生育するまでの間は耐侵食性および耐洗掘性を有すること、および、植物の繁茂に適する植生基盤としての条件を満たすことである。また、盛土材料として適用される繊維混合土に要求される性能は、盛土体が安定を確保できる強度を有し、施工後に沈下を起こさないように十分締固められていることである。

繊維混合土の施工計画として特に考慮しなければならない事項を以下に示す。

①土取り場の選定

繊維混合土に利用できる土質材料は、粘性土から砂質土まで適用可能である。しかし、混合装置の能力により、粒径が数cm以上のレキ・岩塊、木片およびコンクリートがら等が混入している材料は利用できない。したがって、混合可能な土質材料を必要量確保できる土取り場を選定しなければならない。また、運搬距離、運搬経路についても十分注意し検討しておく必要がある。

②施工方法（施工順序、施工時期）、建設機械の使用計画、施工速度および所要時間

繊維混合土の施工速度は、繊維混合土機械の混合能力に大きく左右される。したがって、建設機械の組合せや作業能力を十分検討して施工方法を立案しなければならない。特に、土質材料の性質や繊維混合比により混合時間等が異なることに注意が必要である。繊維混合方法には、大きく分類すると原位置混合機械を用いる方法（原位置混合方式）とプラント型混合装置を用いる方法（プラント型混合方式）がある。プラント型混合方式の場合は、繊維混合土を適用箇所に施工するまでの間、仮置き場所が必要となるため、このことを考慮した施工方法の立案を行わなければならない。

③資材計画

繊維材料は、繊維メーカーにより受注生産されるため、施工時期を考慮して資材の調達を行わなければならない。また、現場での保管は雨水など水の影響を受けない対策を施さなければならない。水にぬれた繊維を使用すると混合が均一に行われぬのみならず繊維開繊供給装置の故障の原因ともなる可能性がある。

④現場施工体制および仮設計画

繊維混合土の作製は、特殊な機械を用いるため施工方法および施工体制を明確にすることが重要である。仮設計画に当たっては、諸機材設置ヤードの確保を検討しなければならない。

⑤事故防止ならびに安全衛生に関する計画

安全管理に関する法規類を遵守することは当然であるが、繊維混合装置は、回転部を有するため、危険防止のため不用意に混合機械に近づかないようにしなければならない。

⑥周囲の環境保全計画

繊維材料と土質材料を混合した後の繊維混合土から繊維材料が飛散することは一般的には起こらない。しかし、繊維混合土の作製中、特に風がある場合、繊維供給時に繊維材料が飛散する可能性があるため注意が必要である。また、セメント等の土質安定処理材を併用する場合は、水質汚濁についても配慮が必要である。

5-3 施工手順

繊維混合土の施工は、調査および試験施工、準備工、繊維混合土の施工、付帯工等がある。施工手順を図5-1示す。調査および試験施工は、土質材料の性状を把握し、詳細な施工計画を立案するための基礎データを得るために行う。準備工においては、測量、諸材料の搬入仮置き等を行う。その他の工種は、土構造物の種類により異なるので、土工の一般的施工法に準じるものとする。繊維混合土の施工は、混合機械の種類によりプラント型混合方式と原位置混合方式の2種類の混合方式があるため、それぞれの混合方式について施工方法の概要と特徴を以下に詳述する。また、土質安定処理材を使用する場合の投入または散布の手順も合わせて示す。

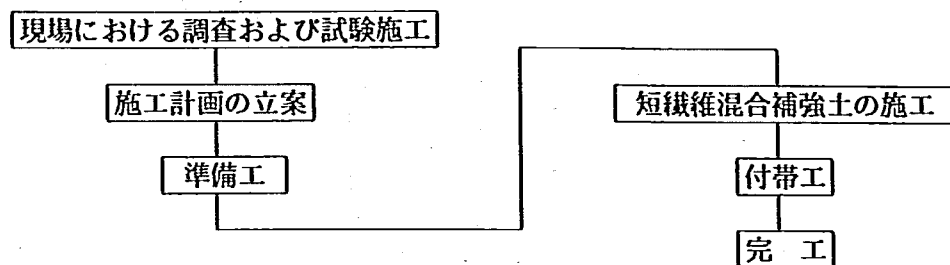


図5-1 施工手順

5-3-1 プラント型混合方式の施工手順

プラント型混合方式は、土質材料をストックするホッパー、土質材料の自動計量装置付き送出し装置、ミキサーから構成されるプラント混合装置を用いて土質材料と繊維材料を混合する方式である。繊維混合方法は、バッチ式で、低含水比の粘性土や砂質土などに適用できる。プラント型混合方式による施工手順は（図5-2）、土質材料と短繊維および必要に応じて土質安定処理材などを所定の割合で混合ミキサーに投入し、混合する。繊維混合土は、一度、仮置きした後、施工位置に運搬し、まき出し、締固めを行う。繊維量、土砂量、土質安定処理材などの数量の管理や混合状態（均一性）の管理がしやすい反面、土質材料の搬入及び、繊維混合土を施工位置まで運搬する必要が生じる。プラント型混合方式による施工例として、バックホウ装着型リボンミキサーを用いた施工状況の模式図を図5-3に示す。

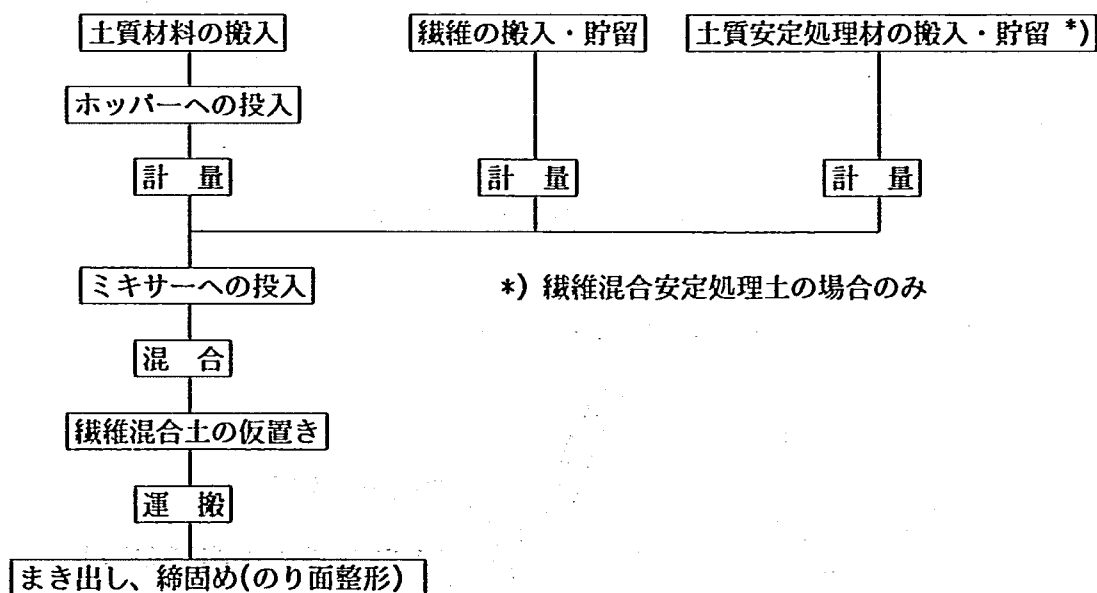


図5-2 プラント型混合装置の施工手順

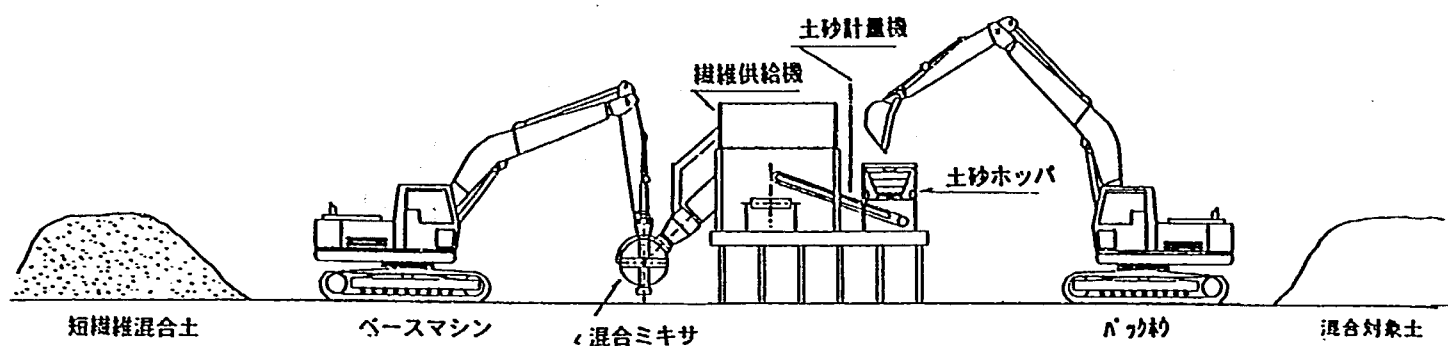


図5-3 バックホウ装着型複合リボンミキサー施工状況

5-3-2 原位置混合方式の施工手順

原位置混合方式は、繊維と土砂の混合装置および繊維の供給装置をバックホウに装備した繊維混合土施工の専用機械を用いて原位置で繊維と土砂の混合を行う方式である。原位置混合機の施工手順を図5-4に示す。原位置混合方式による施工状況の模式図を図5-5、図5-6に示す。土質材料は砂質土で実績がある。比較的狭隘な場所での施工も可能であり、機動性もある。また、のり面で直接混合できる（図5-7）反面、オペレータの技量に左右される。土質安定処理材を散布する場合は、荷扱いや作業中の粉塵発生により作業者のみならず近隣にも迷惑をかけるため、作業の際には風速、風向に注意し粉塵の発生を押さえることに努めなければならない。

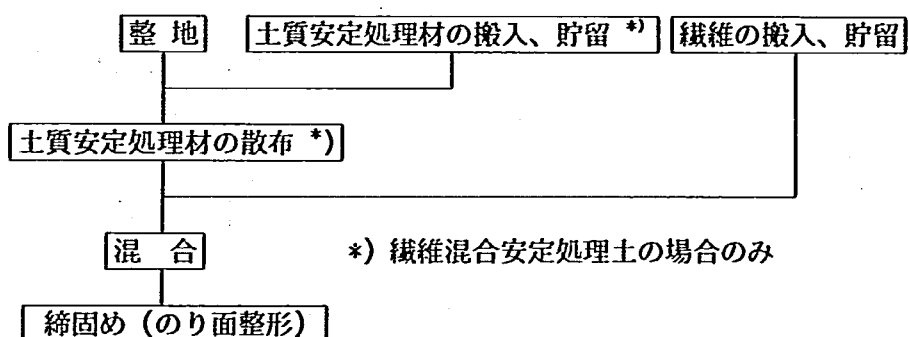


図5-4 原位置混合機の施工手順

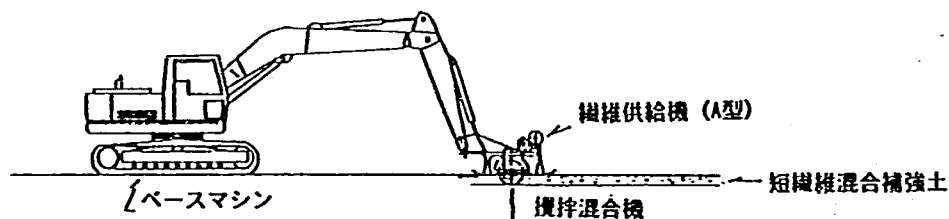


図5-5 原位置混合機（繊維供給機A型）施工状況

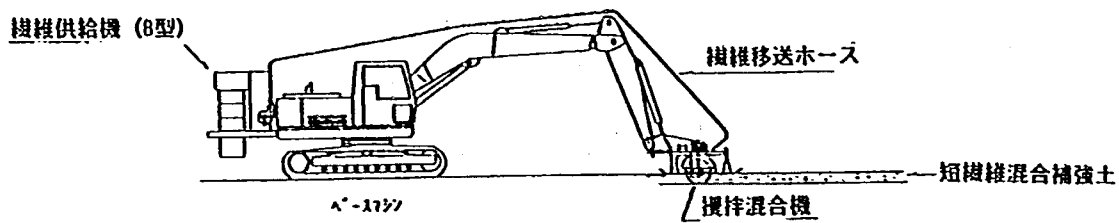


図5-6 原位置混合機（繊維供給機B型）施工状況

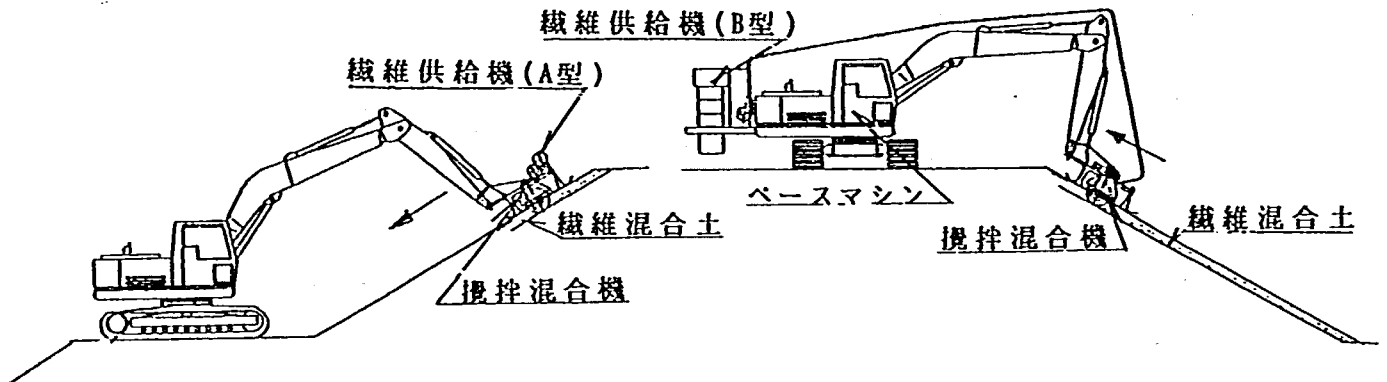


図5-7 原位置混合機によるのり面での直接施工模式図（参考図）

5-4 施工方法

5-4-1 調査および試験施工

1) 調査

調査は、土質材料は設計に用いられた材料と同じであることを確認するとともに、施工管理に必要な諸資料を入手するために実施する。試験項目を表5-1に示す。繊維混合土の突固めによる土の締固め試験は、手練りまたは、容量50リットル級の水平2軸パドルミキサー等で混合した試料を用いて実施する。

土塊、レキや岩塊を含む土質材料では、繊維材料の混合が困難となるため、土の粒度分布試験に合わせて、目視により土塊、レキや岩塊の存在を確認する。

繊維混合土を植生基盤として適用する場合は、土質材料のpHが植生に適する値であることを確認する²⁾。

試験頻度は、土質が変わるごとに1回実施することを標準とする。

表5-1 試験項目

試験項目	試験方法
土粒子の密度試験	土粒子の密度試験方法 地盤工学会基準 JSF T 111
土の粒度分布試験	土の粒度試験方法 地盤工学会基準 JSF T 131
液性限界・塑性限界試験	土の液性限界・塑性限界試験方法 地盤工学会基準 JSF T 141
土の含水比試験	土の含水比試験方法 地盤工学会基準 JSF T 121
短繊維混合補強土の突固めによる土の締固め試験	突固めによる土の締固め試験方法 地盤工学会基準 JSF T 711
土のpH試験	土のpH試験方法 地盤工学会基準 JSF T 211

2) 試験施工

大規模工事では本施工に先立って、設計および施工計画の細部についての適応性を確認する目的から、繊維混合土の混合試験と締固め試験を行う。試験方法を表5-2に示す。

繊維混合土の混合試験は、繊維および土質安定処理材の混合性の確認と、混合機械の適性および施工速度の確認を行う。混合性の確認は、繊維材料および土質安定処理材が均一に混合されているか、繊維の開繊および分散性は良好であるかを目視観察により確認する。混合機械は、十分な混合を確保できる機種を選定するとともに、混合機械の施工速度または1バッチ当たりの混合時間を決定する。十分な混合状態が得られない場合は、土質材料の含水比を調整するか、繊維の太さや繊維長さ、および混合比の変更を検討する。また、プラント型混合方式による場合は、1バッチ当たりの作製量を少なくする等の対策も考えられる。

締固め試験は、締固め機械の選定と敷均し厚さ、締固め回数、施工含水比を決定し、所定の品質の盛土が構築できるようにする。

表5-2 試験項目

試験項目	試験方法
現場密度試験	砂置換法による土の密度試験方法 日本工業規格 JIS A 1214
	RI計器による土の密度試験方法 日本道路公団規格 JHS 106
繊維分散性確認試験	繊維分散性確認試験（目視観察法） 参考資料を参照

5-4-2 準備工

準備工は、工事を円滑に進めるために工事準備測量、施工機械の準備、諸材料の準備、必要な治具や道具の準備等を行うものである。

1) 工事準備測量

本工事に先立ち、繊維混合土の施工位置を十分確認した上で現地の測量を行わなければならない。また、

プラント型混合装置を使用する場合は、資機材の配置計画にしたがって測量を行う必要がある。

2) 施工機械の選定

繊維混合土の施工機械は、大きく分けると混合機械、積込み運搬機械、敷均し機械、締固め機械よりなる。混合機械の選定に当たっては、施工速度（混合の作業能力）と施工規模（混合土量）を考慮する必要がある。また、混合装置の種類により、特定の繊維供給形態（バール梱包、ラップ梱包）が要求されることに注意する必要がある。プラント型混合装置を使用する場合には、袋詰め梱包の開繊された繊維を用いることができる。混合装置と繊維供給形態の組合せを図5-3に、混合装置例、繊維供給装置例を表5-3、表5-4に示す。

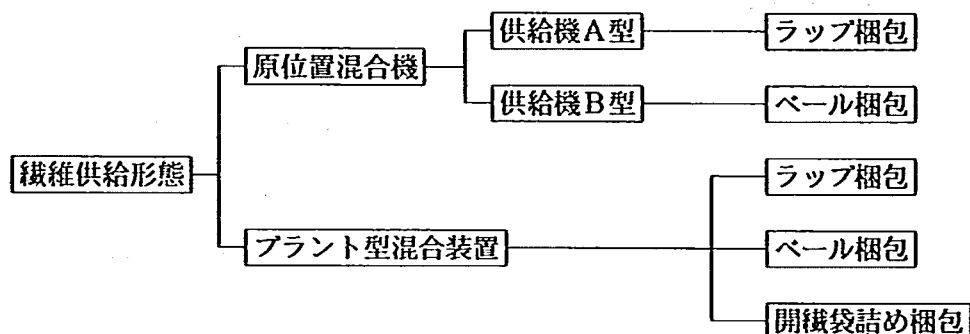


図5-8 繊維供給形態

表5-3 混合装置例

混 合 装 置	機 構 お よ び 仕 様
プラント型混合装置	バックホウ装着型複合リボンミキサー ミキサー容量 0.5, 1.0m ³
原位置混合機	バックホウ装着型繊維混合機 作業幅 1m 1回当たりの最大混合改良深さ 30cm 移動速度 1～2 m/min

表5-4 繊維供給装置例

繊維供給装置	機 構
繊維供給機A型	ラップ梱包繊維を一定速度で開繊機械に送り込む装置、開繊する装置および開繊された繊維を混合機に投入する装置からなる。
繊維供給機B型	バール梱包繊維を一定速度で掻取り開繊する装置、開繊した繊維の搬送する装置および開繊された繊維を混合機に投入する装置からなる。

現段階における混合機械の適用土質は、原位置混合機では砂質土、プラント型混合装置では低含水比の粘性土から砂質土の実績がある。

敷均し機械は、プラント型混合装置を用いた場合に繊維混合土を造成地にまき出し敷均らす時に使用する。平坦地ではブルドーザー、のり面ではバックホウが用いられる。

締固め機械は、土質材料の土質や締固め厚さを考慮して、試験施工で選定された機種を使用する。一般に振動ローラーやランマーが使用される。

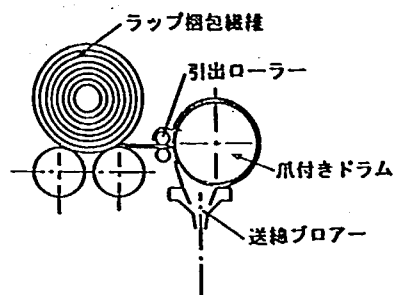


図5-9(1) 繊維供給装置 A型

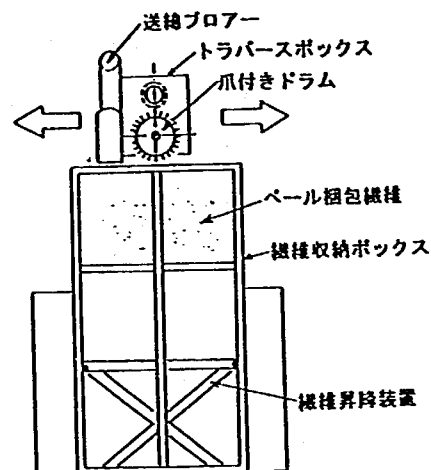


図5-9(2) 繊維供給装置 B型

3) 諸材料および仮置き

繊維材料は、ペール梱包、ラップ梱包あるいは、開繊後袋詰めされた梱包で搬入される。繊維材料は、水に濡れたり高湿度になると施工時に開繊、分散性が極めて悪くなるため、屋内に保管するのが望ましい。また、開繊後の繊維は、非常に軽量で散逸する可能性があるため、仮置き時にも注意する必要がある。また、繊維は可燃性材料であるため、火気の取り扱いにも十分注意が必要である。

土質安定処理材は、紙袋 (40kg) やフレコン (通常 1 t 入り) で搬入される⁵⁾。また、プラント型混合装置の場合、施工量によってはセメントサイロを用いる。貯蔵する場合は、木板あるいは角材などの上に置き、地面に直接置くことを避ける。また、降雨の恐れがある場合や湿度が高い場合は、ビニールシート等で覆う。

4) 繊維材料検査

搬入された繊維の入荷検査は、繊維の種類、繊維長さ、繊維の太さ、重量を確認する。

5) 整地

原位置混合機を用いる場合に混合ヤードを造成するために整地を行う。混合機械の走行に悪影響を与える有害な不陸がないように整地する。また、掘削した土砂を繊維混合土として使用する場合は、土塊は粉碎し、レキや岩塊は除去しなければならない。

5-4-3 混 合

1) 繊維の供給

繊維材料の供給に当たっては、プラント型混合装置の場合は 1 バッチ当たりの繊維量を決定し、原位置混合装置の場合は 1 分間当たりの繊維供給量を決定する。繊維量は、土質材料の乾燥重量に対して重量比として与えられる。繊維混合比の変動係数は、過去のデータより決定されなければならないが、変動率を 5 % とした実績がある。

繊維の供給方法は、混合機械により2種類に分けられる。

①プラント型混合装置の場合

バッチごとに設計で定められた添加量の繊維材料を混合機械に投入する。投入方法は、繊維材料を定量を計量して人力でプラントに投入する方法と繊維供給装置から一定量の繊維材料を自動的に投入する方法が適用できる。

②原位置混合装置の場合

繊維材料は、原位置混合機に取付けられた繊維供給および開繊装置より空気で搬送され、回転攪拌翼を有する混合装置部に一定量供給される方法が用いられる。

また、繊維量の計量方法には、以下の方法がある。

①定量袋詰めされた繊維材料を準備する方法

ベール梱包あるいはラップ梱包されて現場に納入された繊維材料を繊維供給装置により開繊し、一定量を計量して袋詰めする方法とあらかじめ開繊し、定量袋詰めされたものを現場に搬入する方法がある。

②繊維供給装置により時間当たり一定量の短繊維を供給する方法

現場に納入された繊維材料は、繊維供給装置A型またはB型により一定速度で開繊される。その後、繊維は空気搬送装置により一定量が混合装置に供給される。

2) 土質安定処理材の散布⁵⁾

原位置混合の場合は、設計により定められた土質安定処理材の添加量を土質材料の上に均一にまき出し、敷き均す方法により行う。散布の手順は、所定の区画内に所定量の土質安定処理材をまき出し、これを区画内に均一に敷き均すことにより行う。まき出しの方法には、以下の方法等がある。

①紙袋を人力で配置、解体する方法

②フレコンバックをクレーンで吊り下げてまき出す方法

③土質安定処理材専用散布機による方法

プラント型混合装置の場合は、混合装置内に所定量の土質安定処理材を投入する。

3) 土質材料の供給

プラント型混合装置の場合は、土質材料をストックするホッパーを有する自動送り出し装置より時間当たり一定量の土質材料がミキサーに供給される。

4) 混 合

プラント型混合方式では、試験混合で決定した混合時間ミキサーで混合したのち排土する。ミキサー負荷が大きくなり、繊維の混合が十分できなくなった場合は、1バッチ当たりの作製量を少なくすることにより対処する。混合装置の能力に依存するが1 m^3 練りのミキサーの場合1～2分程度の混練時間で均質に混合できる実績がある。

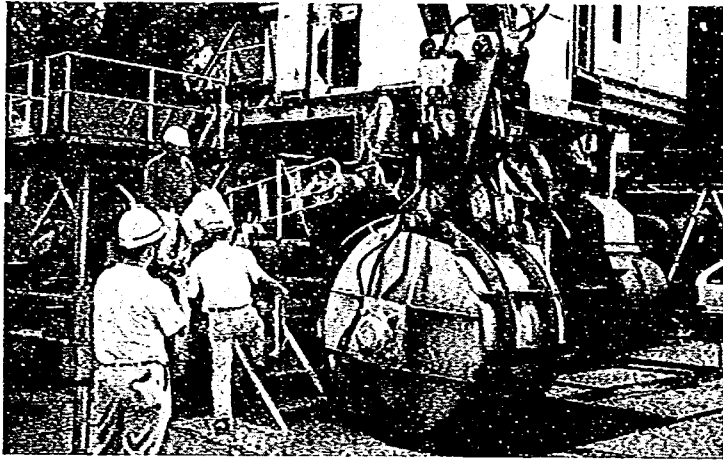


写真5-1 プラント型混合措置の混合状況

原位置混合方式では、平坦地の場合、混合機械を1～2 m/分の速度で走行させて混合する。また、のり面上で直接混合する場合は、混合装置を取り付けたバックホウのアームを操作して平坦地と同様に混合装置を1～2 m/分の速度で移動させる。原位置混合方式では、繊維供給装置から供給される単位時間あたりの繊維の供給量と混合機械の走行速度によって決まる単位時間あたりの混合土量との比が繊維混合比に対応したもの（土の含水比を考慮したもの）でなければならないことから、機械走行速度の管理は慎重に行わなければならない。繊維の混合が不十分な場合は、繊維材料の供給を止めて再度、攪拌混合することにより対処する。

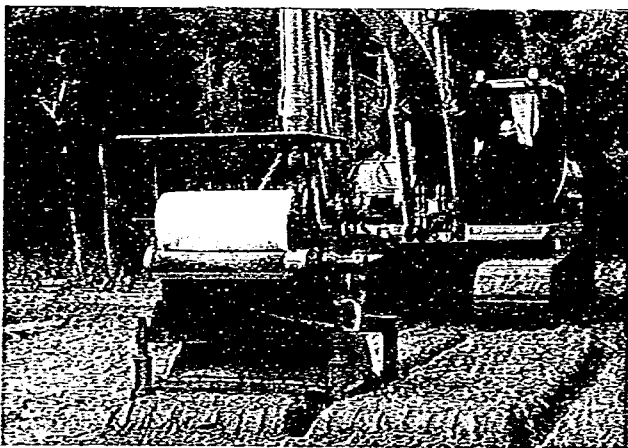


写真5-2(1) 原位置混合方式の混合状況(A型)



写真5-2(2) 原位置混合方式の混合状況(B型)

5) のり面への施工方法

のり面への施工方法は、施工位置に直接混合し施工する方法と、施工位置とは別な場所で繊維混合土を作製し、のり面へ施工する2つの方法がある。

① のり面への直接混合

のり面への直接混合は、対象ののり面に直接繊維混合土を施工するものである。繊維混合後、のり面を整形・転圧する。原位置混合装置の回転攪拌翼は、掘削深さを30cmに設定するのが一般的である。

②のり面と別の場所で混合

プラント型混合方式では、のり面とは別の場所で必要量の繊維混合土を作製し、仮置きする。盛土の施工工程に合わせて繊維混合土を運搬し、バックホウなどで斜面に被覆する。その後、斜面を整形・転圧する。原位置混合方式でも、のり面近くの平坦部で繊維混合を行い、仮置きし、その後バックホウなどで斜面に被覆する場合がある。繊維混合土の作製速度とのり面被覆工の施工速度が異なると工期に影響を与える事となるため注意が必要である。

5-4-4 繊維混合土の締固め

繊維混合土は、適当な締固め機械を用いて所定の締固め度が確保できるように転圧する。

5-5 施工管理

施工管理には、工程管理、品質管理、出来形管理、機械管理、安全管理、環境保全対策がある。ここでは、品質管理、出来形管理、安全管理について概説する。また、維持管理についても簡単に述べる。

5-5-1 品質管理

繊維混合土の品質管理は、繊維の開繊および分散性を確認することにより行う。また、施工時の繊維混合土は、その要求品質に応じて、締固め度あるいは、強度管理を行う。植生基盤として適用する場合は、土壌硬度により管理するものとする。

1) 盛土の締固め管理

盛土体の品質管理は、一般に密度管理により行う。管理値は、あらかじめ仕様書などで示された、締固め度あるいは空気間隙率とする。密度の測定方法は、現場密度試験、または、RI計器による土の密度・含水比測定によるものとする。試験方法を表5-5に示す。測定の頻度は、同一土質ごとに一回、かつ5,000m³に1回程度を標準とする。

表5-5 品質管理試験

試験項目	試験方法
土の密度測定	砂置換法による土の密度試験方法 日本工業規格JIS A1214
	RI計器による土の密度・含水量測定方法 日本道路公団試験方法 KODAN 106
土の含水比試験	土の含水比試験方法 地盤工学会基準 JSF T 121

2) 繊維の分散性管理

繊維混合土は、繊維材料がわた状に固まった状態や均一に分散していない状態では所定の効果が得られない。そこで、繊維分散性の管理は、予め作製された分散性の目視指標と対比して繊維が十分に開繊・分散されていることを確認する。通常は、目視確認によることを原則とする。ただし、原位置混合機械を用いて繊維混合比が混合対象土の乾燥重量比で0.4%以上の場合は目視評価のみならず、繊維ふるい分け試験（巻末

資料参照)を事前に行って確認するものとする。繊維混合土の分散性確認試験において得られた目視確認の評価と繊維含有量の均一性との関係を図5-10に示す。両者の関係には正の相関が認められる。したがって、均一性の確認は、目視観察が有効であることがわかる。また、繊維の開繊状態やわた状の繊維片の有無を確認するためには目視観測がもっとも的確に判断できると考えられる。繊維分散性確認試験は、巻末資料に示される「短繊維混合補強土の繊維分散性確認方法」に準じて行う。目視観察は、次の手順で行う。

①各バッチごとに仮置きされた繊維混合土、または、

原位置混合された繊維混合土の全体を眺め、わた状、あるいは、束状の繊維塊量を判断する。繊維量にもよるが、繊維塊があまり目につかなければ良好とする。

②一握りの繊維混合土の土塊を手を持ち二つ割りにする。土塊の断面に繊維が均一に混入すれば良好と判断する。

③観察結果をもとに評価ランク付け(A～E)を行う。

測定頻度は、同一土質ごとに1回、かつ1日1回を標準とする。

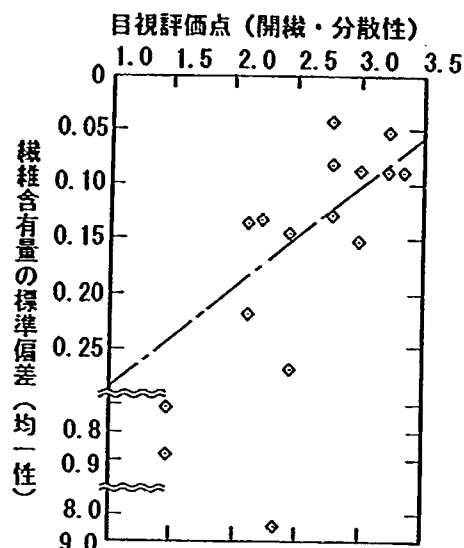


図5-10 目視評価点と繊維含有量の標準偏差の関係

3) 繊維混合比の管理

繊維混合比の管理は、繊維の供給または使用量と対象土量を管理することによって行う。プラント混合方式の場合は、1バッチ当たりの土重量(ホッパーを有する自動計量装置の場合は、ホッパーからの排土時間)と繊維供給量を管理する。また、原位置混合機械を使用する場合は、繊維の使用量と混合施工面積によって管理する。

4) 繊維混合安定処理土の強度管理

繊維混合安定処理土の強度管理は、原位置よりサンプリングした安定処理土の一軸圧縮試験を行い、所定の強度が得られていることを確認する。また、繊維混合の特徴であるじん性の向上は、破壊ひずみが大きく、残留強度の低下が小さいことを確認すると良い。三軸圧縮試験あるいは、一軸圧縮試験による繊維混合安定処理土の応力-ひずみ曲線の例は、3-4-2力学的特性の項に示されている。供試体の作製方法は、地盤工学会基準「安定処理土の突固めによる供試体作製方法 JFS T811」による。

5) 土壌硬度

植物の生育には、土壌の硬度が低過ぎても高過ぎても弊害を生ずる。土壌硬度からみた植物の生育状態は、道路土工のり面工・斜面安定工指針²⁾(表5-6)に示されており、土壌硬度が10mm以上30mm未満であれば植物の生育に適する。土壌硬度の測定には、一般的に山中式土壌硬度計が用いられる。

表5-6 土壌硬度からみた植物の生育状態²⁾

地 質	土壌硬度 (mm)	植物の生育状態
土 砂	10未満	・乾燥のため発芽不良になりやすい。 ・安息角より急な勾配になると崩れやすくなるので、植物の定着が困難となりやすい。
	10以上23未満 (粘性土) 10以上27未満 (砂質土)	・根系の伸長は良好である。 ・樹木の植栽にも適する。
	23以上30未満 (粘性土) 27以上30未満 (砂質土)	・木本類の一部を除いてほとんどの植物の根系の伸長が困難である。
	30以上	・根系の伸長は不可能である。
軟岩・硬岩	—	・岩に節理がある場合には木本類の根系の伸長は可能である。

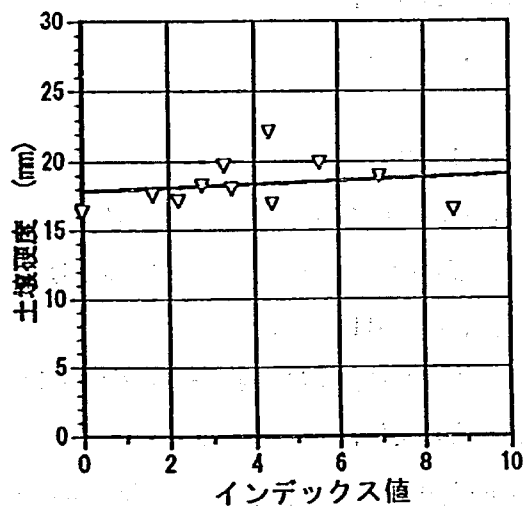
(参考文献6)の表を修正)

土壌硬度の測定例として原位置繊維混合機械を用いた施工実験における測定結果を示す。盛土材料の土質条件は、表5-7の通りである。締固め作業は、730kg級の手押しの振動ローラーを2往復させて転圧している。土壌硬度の測定結果をインデックス値で整理したものを図5-11に示す。インデックス値が増加しても土壌硬度の値は概ね15~25mmの範囲にあり、植物の生育に弊害を与えない良好な植生基盤となることがわかる。

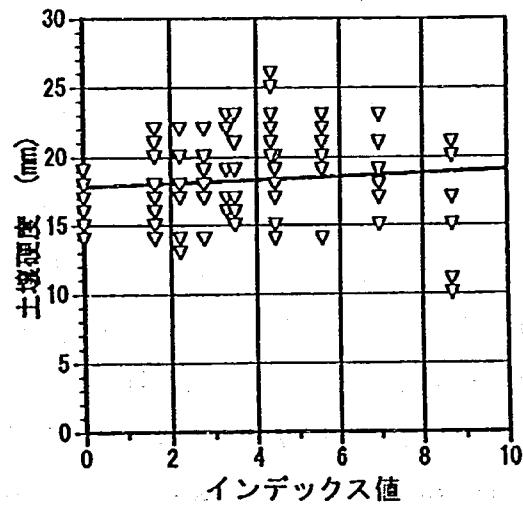
土壌硬度の試験方法は、日本道路公団規格JHS601土壌硬度試験方法³⁾に準ずる。測定の頻度は、のり面1段、かつ同一土質ごとに3ヶ所の測定を標準とする。

表5-7 原位置繊維混合機械施工実験の土質条件

物理的性質	土粒子の密度 ρ_s	2.657 g/cm ³
	自然含水比 wn	14.7 %
	粒度	
	れき分	0 %
	砂 分	80.6 %
	シルト分	11.4 %
	粘土分	8.0 %



a) 平均値



b) 全測定値

図5-11 土壌硬度の測定例

5-5-2 出来形管理

繊維混合土盛土の出来形管理には、のり長、勾配、基準高、繊維混合土厚さなどがある。繊維混合土厚さの測定方法は、①原位置混合処理の場合は、試掘によりその混合深さを確認する。②プラント型混合あるいは、原位置混合機械を用いたヤード混合の場合は、盛土各位置の水準測量を行うことにより混合厚さを確認する。土羽土として被覆された繊維混合土の層厚の管理値として±5cmとした例がある。測定は、施工延長20mごとに行うことを標準とする。

5-5-3 安全管理

安全管理は、「労働安全衛生法」および「労働安全衛生規則」等の各種法規を遵守する。混合機械は、回転攪拌翼を有する大型の建設機械が用いられるため、特に建設機械に関連した災害に注意を払わなければならない。

5-5-4 維持管理

繊維混合土の維持管理は、用途に応じてその機能を健全に維持することを目的に行う。日常の管理は、目視観察によりのり面の変形、侵食等の変状の有無を確認する。変状が確認された時は、詳細な調査を実施し、必要に応じ対策工を施す。

のり面の被覆土に適用された繊維混合土は、のり面に植物が繁茂する前でも、降雨や流水に対して十分な浸食・洗掘抵抗性を有する必要がある。維持管理においては、植物の根茎が十分生育し土中入っていることを評価することを目的として引抜き試験を実施し、繊維混合土が施工時に得られた引抜き力を有することを確認する事例がある^{6) 7) 8)}。

第5章 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工 施工指針, pp.25-28, pp.267-279, 1986
- 2) 社団法人日本道路協会：道路土工 のり面斜面安定工指針, p.188, 1986
- 3) 日本道路公団：日本道路公団試験方法, p.6-1, 1992
- 4) 社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説, 「関連の試験方法について」, 1990
- 5) 社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル(2版), p.80, 1994
- 6) 持丸章治, 福山慎一, 岡村康弘, 新坂孝志, 太田賢：繊維混合補強土に関する研究(その10)－堤体法面被覆工の追跡調査－, 第30回土質工学研究発表会論文集, pp.2411-2412, 1995
- 7) 持丸章治, 福山慎一, 岡村康弘, 新谷秀人, 長坂勇二：繊維混合補強土に関する研究(その11)－堤体法面被覆工の追跡調査(2)－, 第31回地盤工学研究発表会論文集, pp.2441-2442, 1996
- 8) Hiroshi Miki, Kunio Mori, Noriaki Katu, Yuuji Nagasaka: Anti-hydrodynamic properties of Fiber-reinforced soil and its application, *Proceedings of the first European Geosynthetics Conference (EUROGEO I)*, Maastricht, Netherlands, pp.411-418, 1996

参考資料

短繊維混合補強土の繊維分散性確認方法

1) 総 則

a) 試験の目的

この試験は、短繊維混合補強土の繊維の分散性を確認するを目的とする。

b) 適用範囲

短繊維混合補強土を対象とする。

c) 用語の定義

繊維の分散性は、繊維含有量のバラツキにより判断する。

2) 試験用具

a) 試験用具

試料撮影箱 2cm角の木片を内辺の長さが10cm×10cmになる様に組み合わせたもの

サンプリング用モールド 直径5cm、高さ10cmの円筒形のもの

3) 試 料

施工位置にまき出された短繊維混合補強土の表面より10cmの深さの位置よりスプーンなどで、サンプリング用モールドに採取する。モールドの底面を2回ほど叩きつける程度の締固めを行い、モールドの縁一杯になるまで採取する。採取した試料は、ビニール袋などの密閉容器に入れる。試料は粒径19mm以上の土粒子を含めないようにする。

4) 試験方法

a) 試料を湿潤状態のまま試料撮影箱に均等に敷き均す。

b) 試料の写真撮影を行う。

c) 繊維の分散性の評価を行う。

繊維の分散状況は、別途作製された分散性目視指標と対比して5段階で評価する

A：良く分散している

(繊維は均一に混合しており、わた状あるいは、束状の繊維塊がほとんどない状態)

B：繊維が束状に固まっているものも見られるが全体に良く分散している

(繊維は均一に混合されているが、繊維塊がすこしある程度の状態)

C：繊維がわた状に固まっているものも見られるが全体に分散している

(繊維は均一に混合されているが、繊維塊が少し多い程度の状態)

D：繊維は分散しているが、わた状の固りが多い

(繊維は均一に混合されているが、開繊繊維量は少なく、繊維塊が多い状態)

E：繊維がわた状に固まっており、ほとんど分散していない

(繊維は均一に混合されておらず、開繊繊維量も少なく、繊維塊がほとんどの状態)

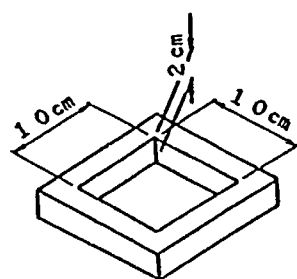


図 試料撮影箱

5) 試験方法の整理

繊維の分散性評価の合格基準

繊維分散性評価においてA、B、C評価されたものは合格、D、Eに評価されたものは、不合格とする。

6) 報告事項

a) 繊維の分散性評価および合否の判定

b) その他特記すべき事項

短繊維混合補強土の繊維ふるい分け試験方法

1) 総 則

a) 試験の目的

この試験は、短繊維混合補強土の繊維含有量を求めることを目的とする。

b) 適用範囲

短繊維混合補強土を対象とする。

c) 用語の定義

短繊維混合補強土とは、短繊維を土に混合したものをいう。繊維含有量とは、繊維の土の炉乾燥質量に対する百分率で表したものの。

2) 試験用具

a) 試験用具

ふるい JIS Z8801に規定れた標準ふるいで次の呼び寸法のもの

4.75mm, 2mm, 425 μ m

はかり 繊維の質量測定用 感量0.001g

土の質量測定用 感量0.01g

サンプリング用モールド 直径5cm、高さ10cmの円筒形のもの

3) 試 料

施工位置にまき出された短繊維混合補強土の表面より10cmの深さの位置よりスプーンなどで、サンプリング用モールドに採取する。モールドの底面を2回ほど叩きつける程度の締固めを行い、モールドの縁一杯になるまで採取する。採取した試料は、ビニール袋などの密閉容器に入れる。試料は、粒径19mm以上の土粒子を含めないようにする。

4) 試験方法

a) 試料を容器に入れ、全質量 m_a を測定する。

b) 試料の全量を110℃で一定質量になるまで乾燥し、容器と試料の質量 m_{sf} をはかる。

c) 炉乾燥試料の全量を標準ふるいを用いて繊維と土粒子をふるい分ける。ふるいに残留した繊維を容器に移す。ふるいは、4.75mm, 2mm, 425 μ mの呼び寸法の順番で使用する。ふるいを通過する繊維もあるためこの操作を数回繰り返す。

d) ふるい分けられた繊維を水道水を満たしたバットに水浸させ繊維を水洗いし、土粒子を完全に除去する。繊維を容器に移す。

e) 水洗いした繊維を110℃で一定質量になるまで乾燥し、容器と繊維の質量 m_f をはかる。

5) 試験方法の整理

a) 短繊維混合補強土の含水比

短繊維混合補強土の含水比 ω_r (%) を次式で算出する。

$$\omega r = \frac{ma - msf}{msf - mb} \times 100$$

ここに ma : 試料と容器の質量 (g)

mb : 容器の質量 (g)

msf : 炉乾燥試料と容器の質量 (g)

c) 繊維含有量

短繊維混合補強土の繊維含有量 r (%) を次式で算出する。

$$r = \frac{mf - mb'}{msf - mb} \times 100$$

ここに mb : 容器の質量 (g)

mb' : 繊維を入れた容器の質量 (g)

mf : 炉乾燥繊維と繊維を入れた容器の質量 (g)

msf : 炉乾燥試料と容器の質量 (g)

6) 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

a) 短繊維混合補強土の含水比

b) 繊維含有量

c) その他特記すべき事項

第6章 適用事例

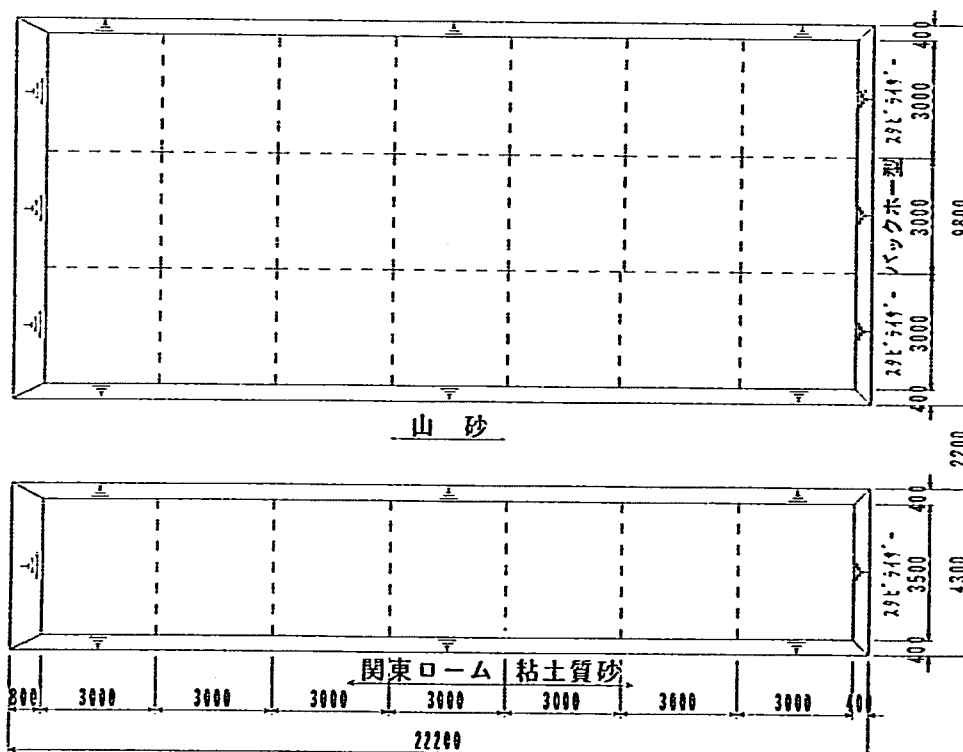
件 名	原位置施工実験						施工時期	平成4年11月	
施工場所	茨城県つくば市大字旭地内 建設省土木研究所敷地内						施 工 量	100.8m ³	
使用繊維	種類	無捲縮ポリエステル系, 無捲縮系ラップ°, 無捲縮系ラップ°A, 紙巻きラップ°, 捲縮ポリエステル系, ネット片, シリカゾル							
	材質	ポリエステル, ポリエステル	長さ (mm)	30, 32, 38	太さ (de)	2, 6, 21, 50	添加量 (%)	0.15, 0.16, 0.17, 1.0 0.2, 0.21, 0.25, 0.38	
混合方法	使用機械	スラブライザー、バックホ型混合機			開繊供給形態	ラップ: 人力により直接敷設 ボビン他: 人力開繊散布			
施工速度	スラブライザー	v = 1.0 ~ 2.0m/min			バックホ型混合機	1ヶ所(1.6m ³) 当り 5 ~ 6分			
概要	原位置繊維混合の施工性(実大規模で原位置に繊維混合土を作るには混合機、繊維供給をどうしたら良いか)を確認することを目的として施工実験を実施。								

施工手順

1. 整地、測量 (ブルドーザー使用)
2. 対象土投入、敷き均し(厚さ40cm)
3. 繊維散布および覆土
 - ① 繊維敷設部分の掘削(深さ10cm)
 - ② 繊維敷設 (ボビン系は手で解繊散布、ラップはそのまま敷き並べ)
 - ③ 覆土(深さ10cm)
4. 攪拌混合
5. 繊維ふるい分け試験用試料採取
6. 敷き均し、整地

土質材料の物理特性

項目	記号(単位)	山砂	粘土質砂	関東ローム
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.710	2.689	2.673
自然含水比 w_n (%)		21.88	16.68	87.47
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.513	1.533	0.675
粒度	礫分 (%)	2.4	5.9	2.1
	砂分 (%)	82.2	73.6	49.2
	シルト分 (%)	7.4	8.5	34.7
	粘土分 (%)	8.0	12.0	14.0



発表文献

第28回土質工学会研究発表会 繊維混合補強土の原位置施工試験

現場写真

施工場所全景



繊維散布



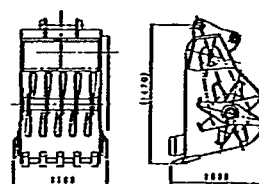
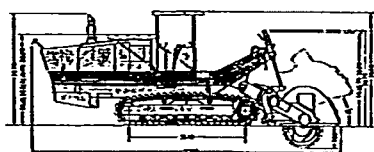
覆土



攪拌混合状況
(スレ-ダ-)



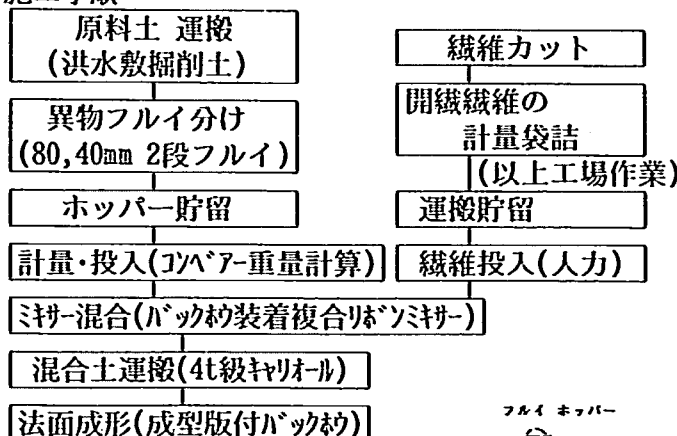
攪拌混合状況
(ハ-ツキ-ダ-)



件名	神宮寺築堤工事 施主：建設省東北地方建設局湯沢工事事務所							施工時期	平成5年10～11月	
施工場所	秋田県仙北郡神岡町宇留井谷							施工量	625.7m ³	
使用繊維	材質	ポリエステル	長さ	32,38,51,64mm	太さ	6,20de	添加量	0.2,0.4%	断面形	H型,丸型, 串団子型
混合方法	使用機械 バックホ装着型複合拌合機				開繊供給形態		開繊済袋詰め繊維、人力投入			
施工速度	平均混合能力 5.24m ³ /hr									

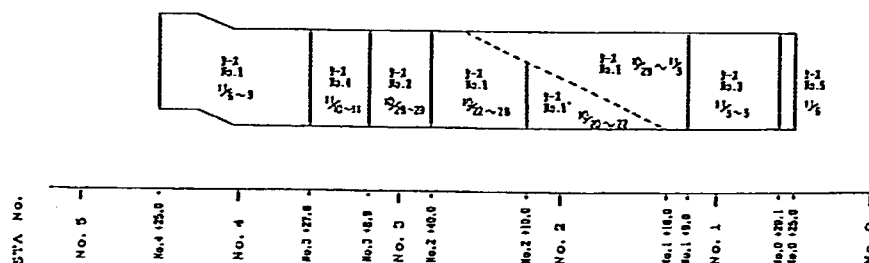
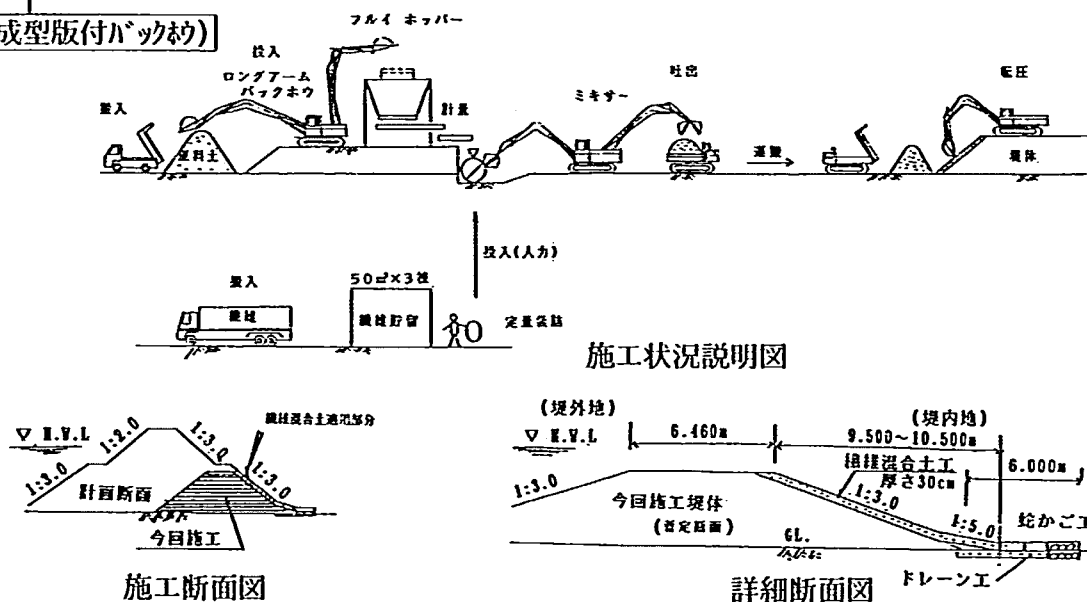
概要 雄物川右岸、神宮寺地区暫定堤防、延長200mの堤内地側被覆土(厚さ30cm)に短繊維混合補強土を適用した。さらに短繊維補強土の表面浸食抵抗性、植生基盤としての適用性を確認するため平成6年6月と11月および平成7年8月に追跡調査を実施。

施工手順



土質材料(山砂)の物理特性

項目	記号(単位)	採取日		
		10/20	11/2	11/8
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.697	2.689	2.684
自然含水比 w_n (%)		14.3	18.3	27.1
最大乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.860	1.668	0.675
粒度	礫, 砂分 (%)	81.5	82.2	69.4
	細粒分 (%)	18.5	17.7	30.6



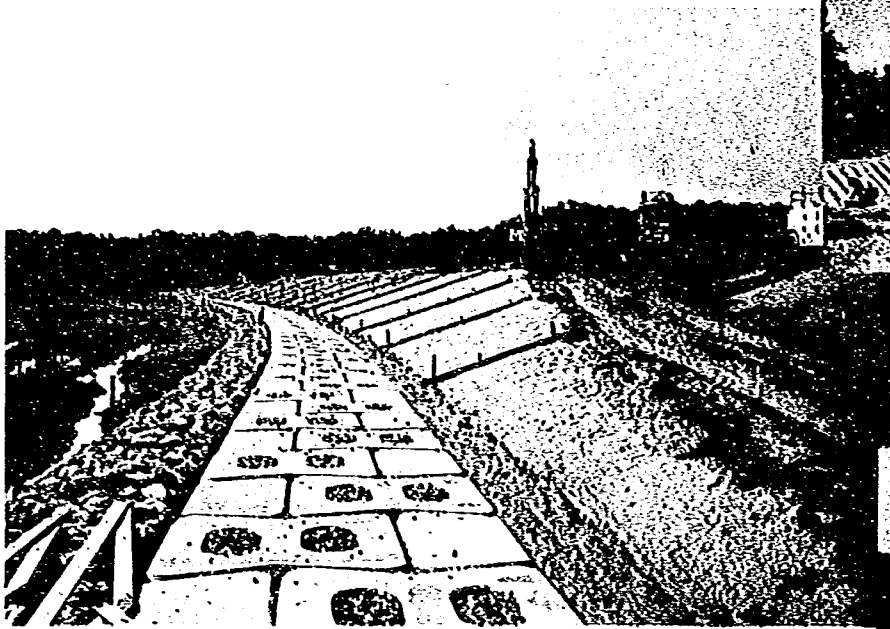
側面(展開)図

発表文献

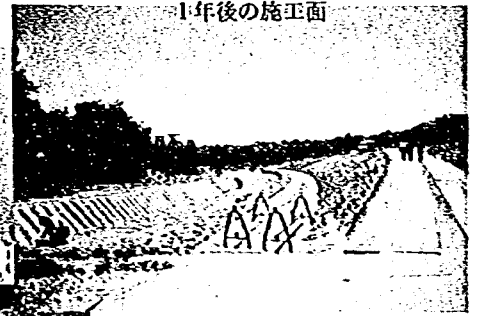
- 第29回土質工学会研究発表会 繊維混合補強土に関する研究 308 堤防法面への試験施工-
 第30回土質工学会研究発表会 繊維混合補強土に関する研究 3010 堤体法面被覆工の追跡調査-
 第31回地盤工学会研究発表会 繊維混合補強土に関する研究 3011 堤体法面被覆工の追跡調査(2)-
 Euro Geo Anti-hydrodynamic properties of Fiber-reinforced soil and its application

現場写真

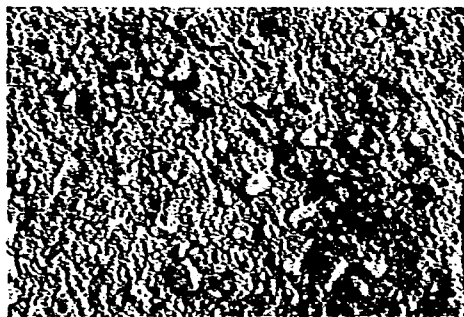
施工場所全景



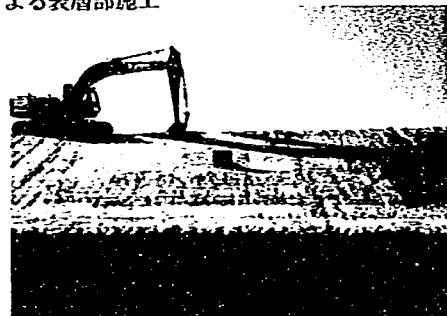
1年後の施工面



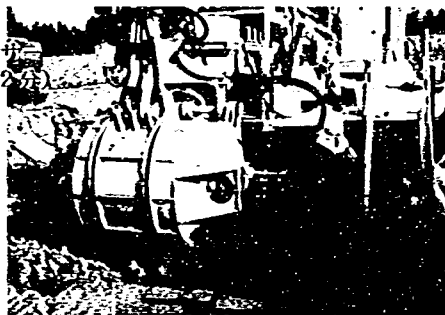
原料土砂
(河川原位置土)



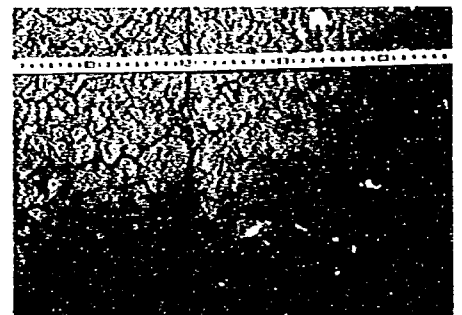
短繊維補強土に
よる表層部施工



1m³スペースミキサー
による攪拌(1~2分)



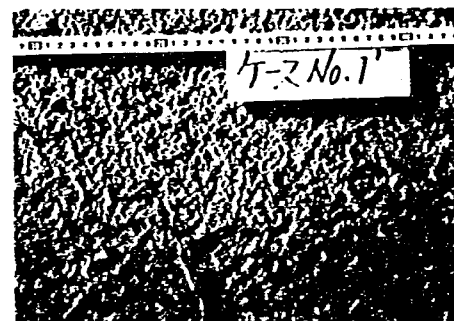
施工後の
表面状態



混練後の状態



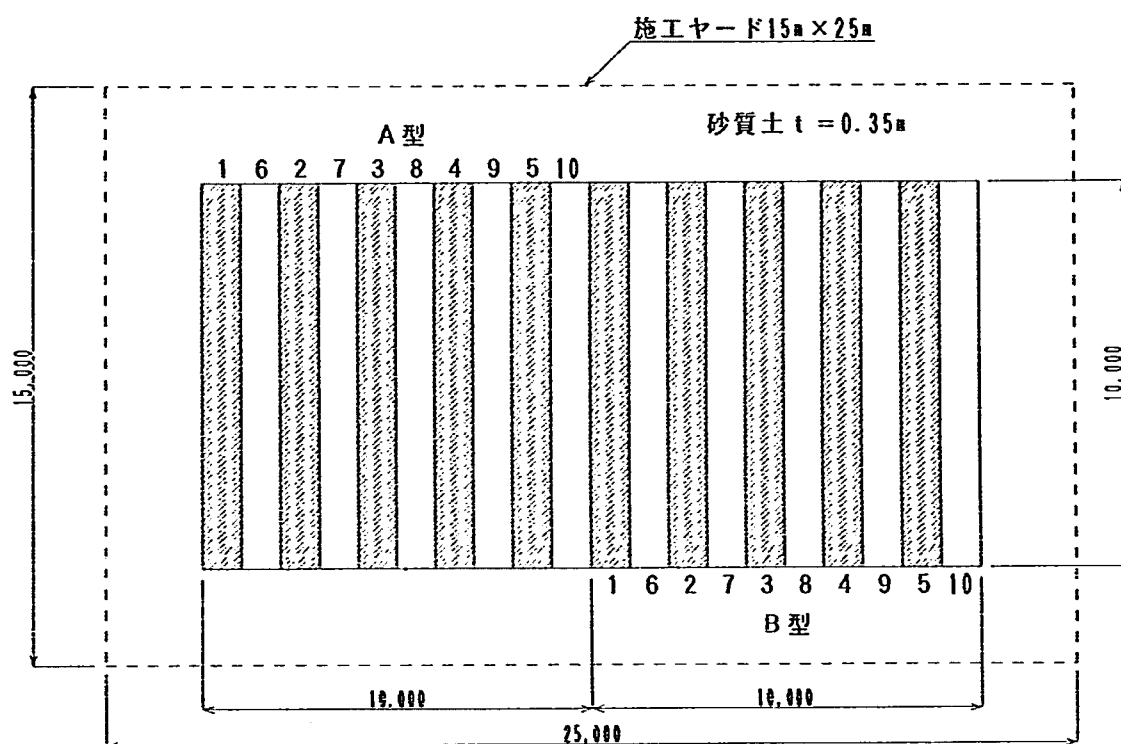
降雨後の
表面状態



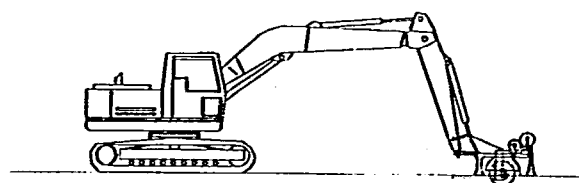
件 名	埼玉施工実験工事							施工時期	平成6年5月	
施工場所	埼玉県児玉郡上里町七本木							施 工 量	60.0m ³	
使用繊維	材質	ポリエステル	長さ	32,64mm	太さ	15,20de	添加量	0.2%	土質材料	砂質土
混合方法	使用機械	バックホ装着型原位置混合機				開繊供給形態	ラップ: A型混合機による開繊 ペール: B型混合機による開繊			
施工速度	v=1.0m/min (混合量0.3m ³ /min)									

概要 実工事を想定した施工方法で連続施工試験を実施し、以下の項目について原位置繊維混合機が実工事に対応可能であることを確認した。

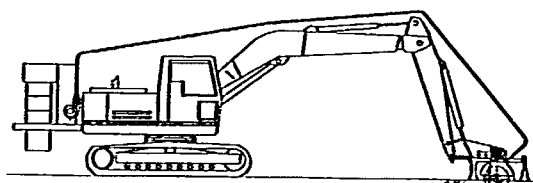
- ・繊維供給機、混合機の耐久性
- ・繊維の詰まりの有無、混合性
- ・最適な施工パターン
- ・最適な人員編成
- ・歩掛、施工能率



平面図



A型

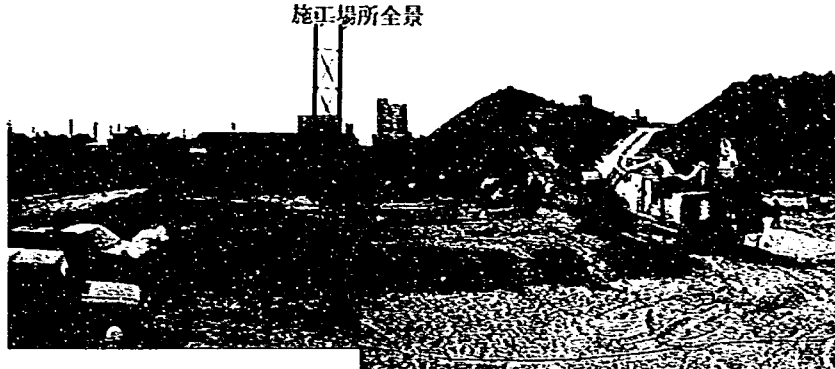


B型

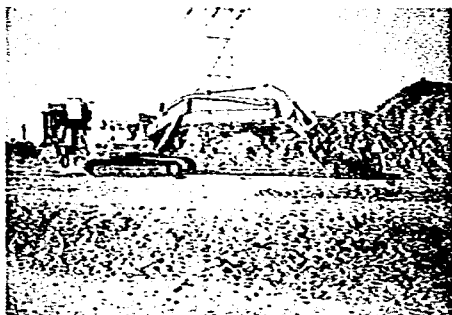
混合機概略図

現場写真

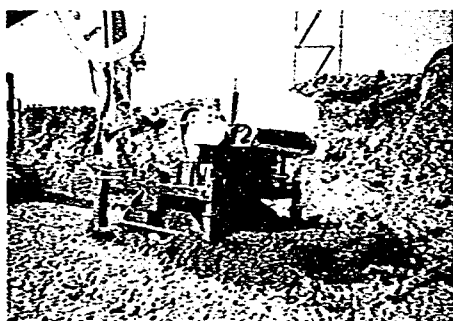
施工場所全景



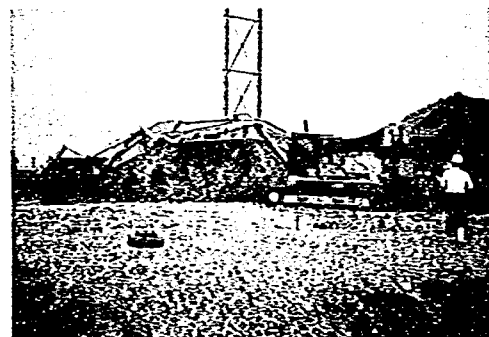
原位置混合機(A型)



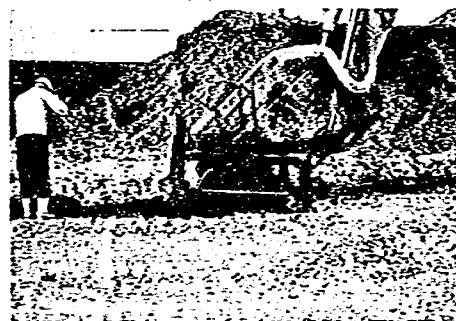
原位置混合機(A型)施工状況



原位置混合機(B型)



原位置混合機(B型)施工状況



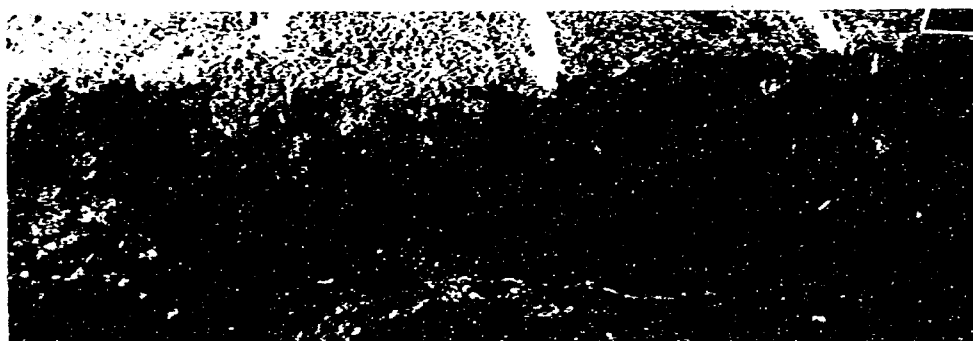
混合後の表面状況



混合状態



施工後断面

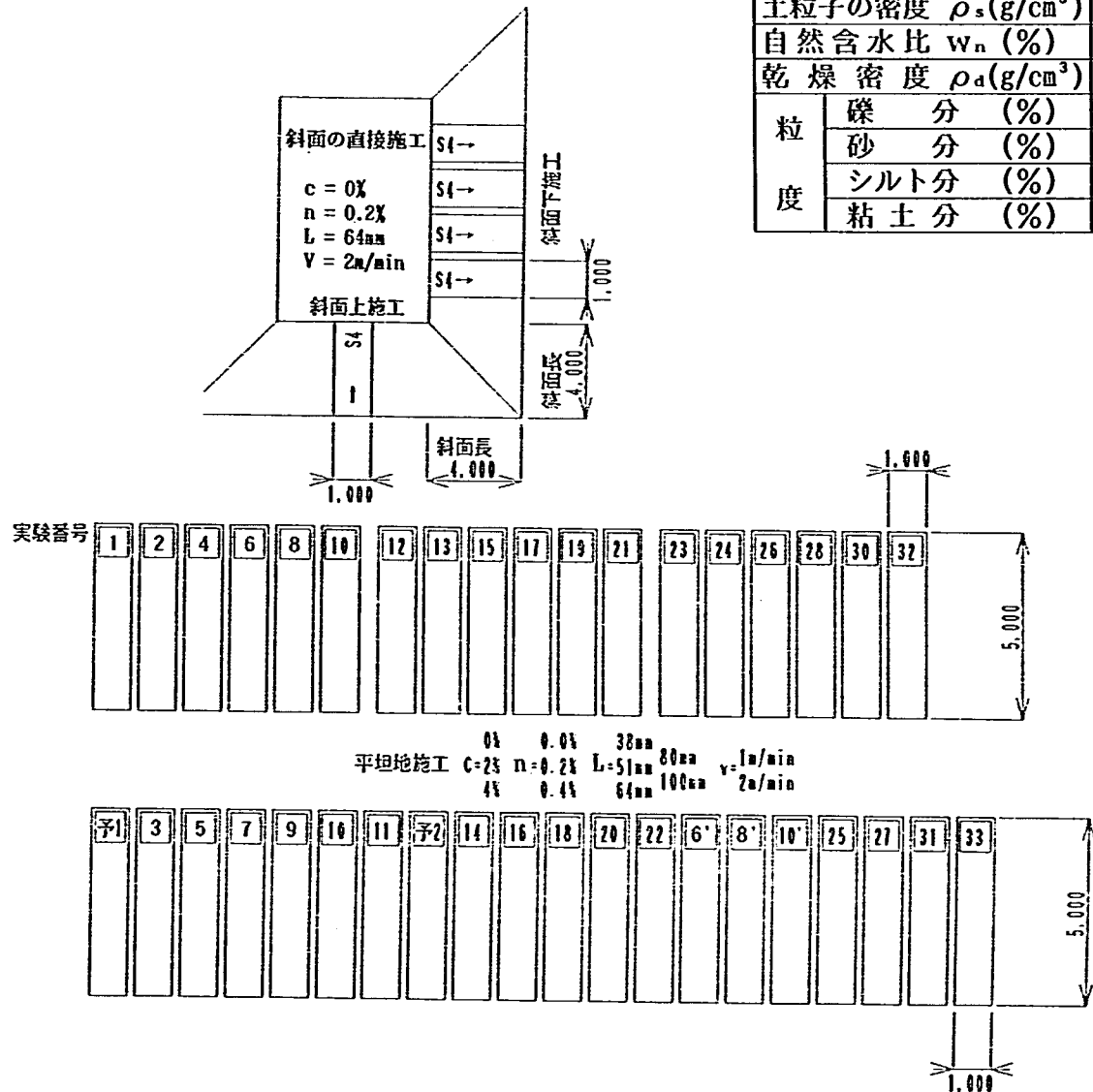


件 名	原位置短繊維混合実験工事					施工時期	平成7年10月			
施工場所	千葉県成田市小菅地先					施 工 量	70.0m ³			
使用繊維	材質	ポリエステル	長さ	38,51,64,80,100mm	太さ	15De	添加量	0.2,0.4%	セメント添加量	0,2,4%
混合方法	使用機械	ハック杓装着型原位置混合機			開繊供給形態	ラップ:A型混合機による開繊				
施工速度	v=1.0,2.0m/min (混合量0.3,0.6m ³ /min)									

概要 原位置混合機の実現場での適用の可能性を確認するため施工速度を計測し、繊維混合土の平面および深さ方向での開繊状況・繊維分散状況を観測。また、繊維長さの違いが繊維混合土の品質に与える影響を把握するため、引抜き抵抗試験、簡易貫入試験、原位置密度試験、土壌硬度測定を実施。

土質材料の物理特性

項 目	記号(単位)	砂質土
土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.657
自然含水比	w_n (%)	14.7
乾燥密度	ρ_d (g/cm ³)	1.590
粒 度	礫 分 (%)	0.0
	砂 分 (%)	80.6
	シルト分 (%)	11.4
	粘土 分 (%)	8.0



平 面 図

発表文献

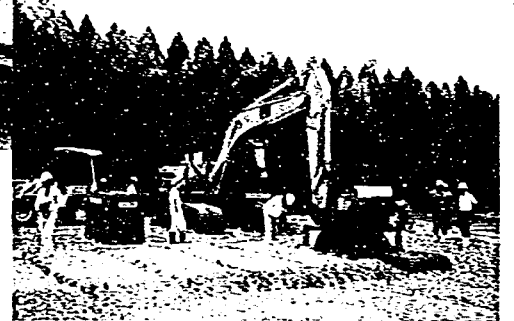
第31回地盤工学会研究発表会 繊維混合補強土に関する研究 3013 現場施工の繊維混合土の品質

現場写真

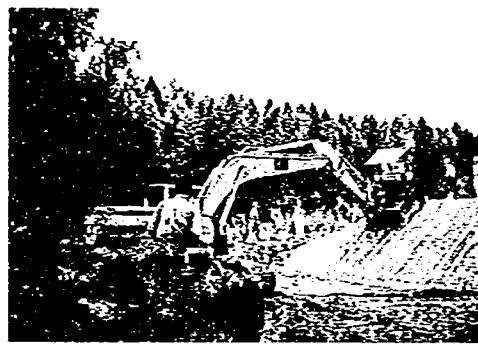
施工場所全景



原位置混合機全景



繊維供給機



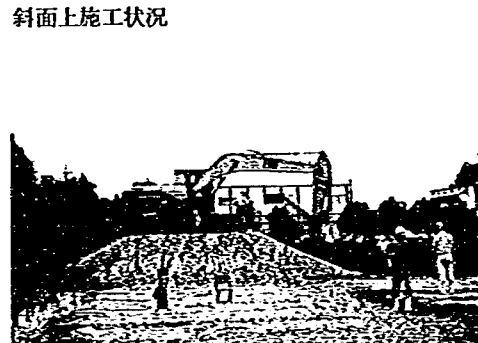
引抜き抵抗試験



平地施工状況



斜面上施工状況



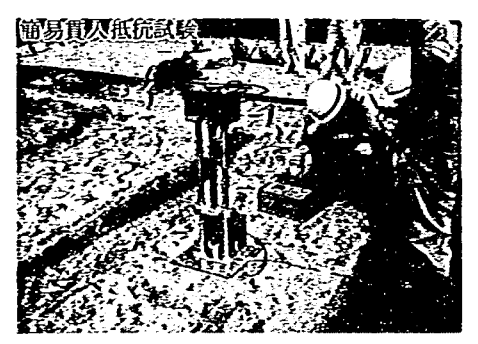
土壌硬度試験



混合後の状況



簡易貫入抵抗試験



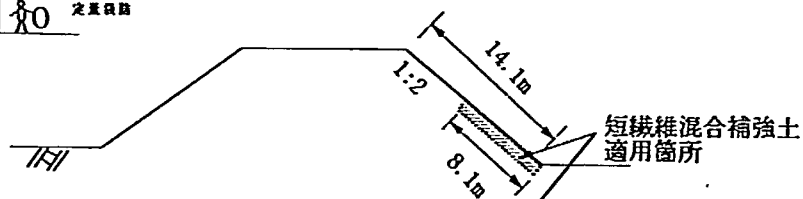
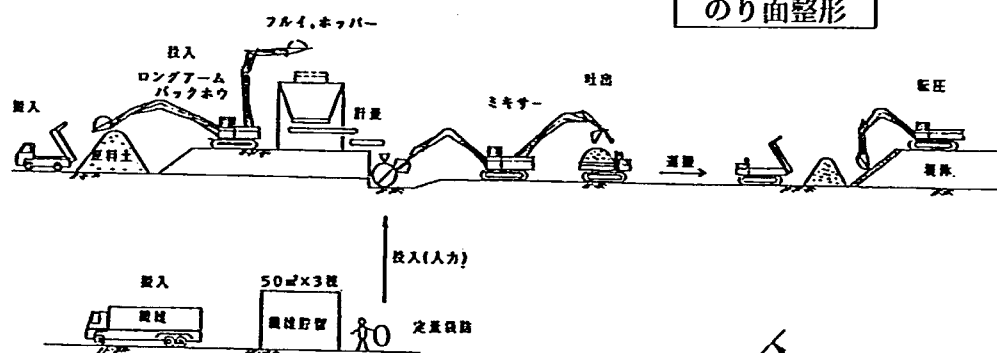
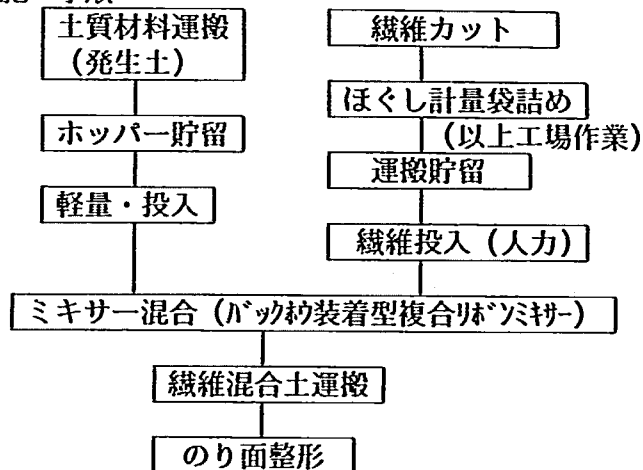
件名	木曽川堤防試験施工					施工時期	平成8年12月	
施工場所	岐阜県川島町					施工量	94.0m ³	
使用繊維	材質	ポリエステル	長さ	64,100mm	太さ	15de	添加量	0.2,0.4%
混合方法	使用機械	バックホウ装着型複合ミキサー			開繊供給形態	開繊済袋詰め繊維、人力投入		
施工速度	平均混合能力3.6m ³ /hr							

概要 木曽川上流にある境川浄化施設から産出される発生土の有効利用法の一つとして、堤防のり面の被覆材に短繊維混合補強土を用いた試験施工を行った。引抜き抵抗試験、簡易貫入試験、RIによる原位置密度試験、土壌硬度を実施。

土質材料の物理特性

項目 (単位)	発生土
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.557
自然含水比 (%)	39.6
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.398
粒度	
レキ, 砂分 (%)	54.2
細粒分 (%)	45.8

施工手順



ケース1 (無処理)		
ケース2 (64mm, 15De, 0.2%)		
ケース3 (100mm, 15De, 0.2%)		
ケース4 山砂混合 (64mm, 15De, 0.2%)		

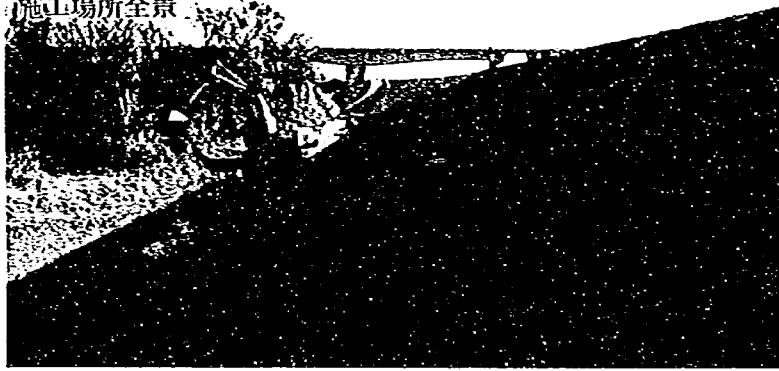
10m
40m

断面図 (上) と平面図 (下)

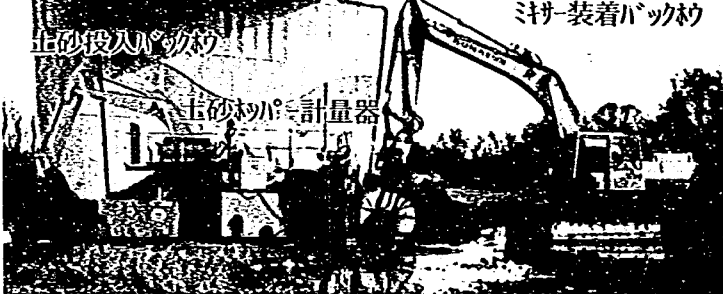
発表文献

現場写真

施工場所全景



パワフル型混合装置全景

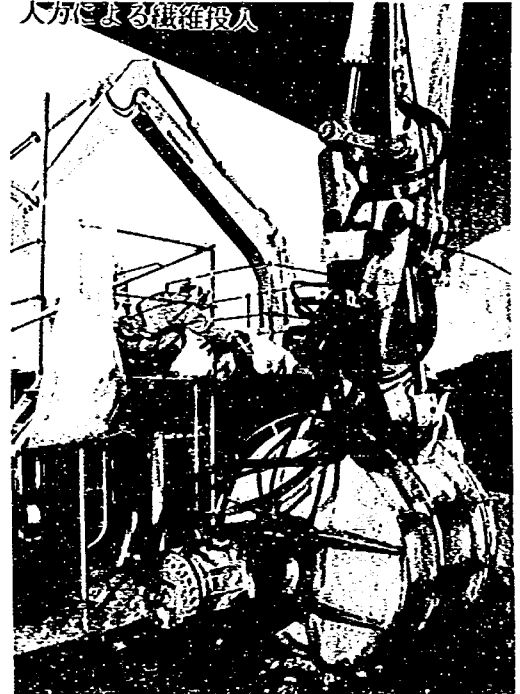


ミサー装着バックホウ

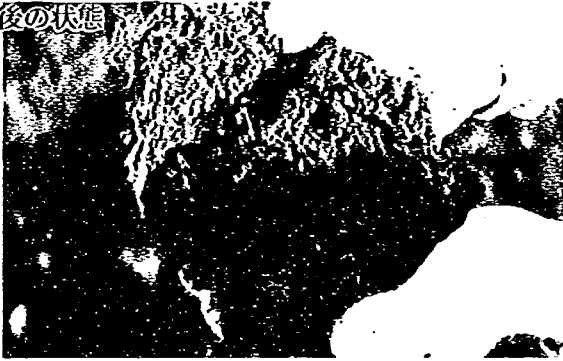
土砂投入バックホウ

土砂投入バックホウ

人力による繊維投入



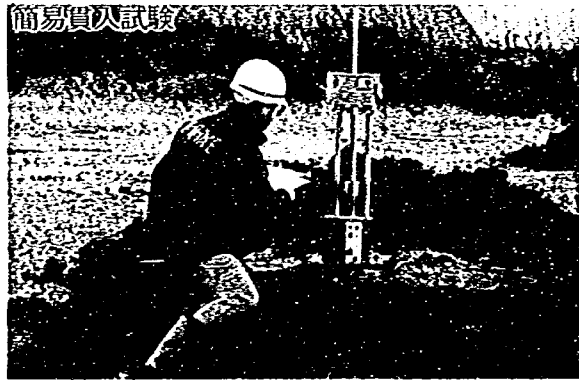
混合後の状態



引抜き試験



簡易貫入試験



試験施工後全景

R IIを用いた含水比・密度測定

